

# Vyhodnocení vlivu mikrostruktury endospermu na technologickou kvalitu pšeničného zrna

Bc. Michaela Najbrtová, DiS.

---

Diplomová práce  
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav biochemie a analýzy potravin

akademický rok: 2010/2011

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Michaela NAJBRTOVÁ, DiS.**  
Osobní číslo: **T09553**  
Studijní program: **N 2901 Chemie a technologie potravin**  
Studijní obor: **Technologie, hygiena a ekonomika výroby potravin**

Téma práce: **Vyhodnocení vlivu mikrostruktury endospermu na technologickou kvalitu pšeničného zrna**

Zásady pro vypracování:

### I. Teoretická část

1. Charakteristika pšenice
2. Mikrostruktura pšeničného endospermu
3. Elektronová mikroskopie

### II. Praktická část

1. Cíl práce
2. Materiál
3. Metody
4. Výsledky a diskuse
5. Závěr

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

- [1] VELÍŠEK, J. Chemie potravin 1, OSSIS, Tábor 1999.
- [2] Muchová, Z. Faktory ovplyvňujúce technologickú kvalitu pšenice a jej potravinárske využitie, SLOVENSKÁ POLNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA, Nitra.
- [3] Turnbull, K. M. and col. Endosperm texture in wheat, JOURNAL OF CEREAL SCIENCE, 2000.
- [4] Shewry, P. and col. Biotechnology of wheat quality, J SCI FOOD AGRIC, 1997.

Vedoucí diplomové práce:

**Mgr. Iva Burešová, Ph.D.**

Ústav technologie a mikrobiologie potravin

Datum zadání diplomové práce:

**25. února 2011**

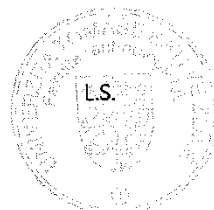
Termín odevzdání diplomové práce:

**20. května 2011**

Ve Zlíně dne 21. března 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



doc. Ing. Miroslav Fišera, CSc.  
*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: .....

Obor: .....

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně .....

.....

---

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce je zaměřena na změny technologické kvality pšeničného zrna vlivem mikrostruktury pšeničného endospermu pomocí skenovacího elektronového mikroskopu. Teoretická část charakterizuje pšenici, její strukturu a pěstování, dále pak složení škrobu. Také je zde blíže specifikován pšeničný endosperm a definována elektronová mikroskopie. Praktická část je zaměřena na měření škrobových granulí, podle fotografií pořízených ze skenovacího elektronového mikroskopu, s následným statistickým vyhodnocením vzájemných vazeb mezi charakteristikami mikrostruktury a parametry technologické kvality.

Klíčová slova: pšenice, škrob, endosperm, technologická kvalita, skenovací elektronový mikroskop

## **ABSTRACT**

The thesis is focused on relationships between technological quality of wheat grain and wheat microstructure. The aim of the theoretical part is to characterize the wheat, its structure and cultivation, then the composition of starch. The details of the endosperm characteristics is included. The practical part is focused on the measurement of starch granules, according to photographs taken by a scanning electron microscope, followed by statistical analysis.

Keywords: wheat, starch, endosperm, technological quality, scanning elektron microscope

Chtěla bych poděkovat Mgr. Ivě Burešové, Ph.D. za odborné vedení, cenné připomínky a rady, které mi poskytla při vypracování mé diplomové práce.

Děkuji Ing. Petru Mišovi, Ph.D. ze společnosti Agrotest s.r.o. za pěstování odrůd. Děkuji Ing. Filipu Mikovi, Ph.D. z Ústavu přístrojové techniky Akademie věd ČR, v.v.i za možnost provedení mikroskopie.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 PŠENICE</b> .....	<b>12</b>
1.1 PĚSTOVÁNÍ PŠENICE .....	14
1.2 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ TECHNOLOGICKOU KVALITU PŠENICE .....	16
1.2.1 Odrůda .....	17
1.2.2 Tvrdost zrna .....	17
1.2.3 Hnojení .....	18
1.2.4 Termín setby a výsevku .....	19
1.2.5 Počasí .....	20
1.3 STRUKTURA PŠENICE .....	21
1.3.1 Tvar a velikost pšeničného zrna .....	21
1.3.2 Embryo .....	22
1.3.3 Endosperm .....	22
1.4 STRUKTURA TVRDÉ A MĚKKÉ PŠENICE .....	23
<b>2 PŠENIČNÝ ENDOSPERM</b> .....	<b>25</b>
2.1 SLOŽENÍ ENDOSPERMU .....	26
2.2 VÝVOJOVÉ ZMĚNY ENDOSPERMU .....	27
2.3 ŠKROB .....	28
2.3.1 Struktura .....	28
2.3.2 Škrobová zrna .....	30
<b>3 ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE</b> .....	<b>32</b>
3.1 SKENOVACÍ ELEKTRONOVÝ MIKROSKOP .....	34
3.1.1 Historie .....	36
3.1.2 Příprava vzorků .....	37
3.1.3 Zpracování obrazu .....	38
3.1.4 Rozlišení a 3D .....	39
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>41</b>
<b>4 CÍL PRÁCE</b> .....	<b>42</b>
<b>5 MATERIÁL A METODIKA</b> .....	<b>43</b>
5.1 MATERIÁL .....	43
5.1.1 Rozdělení odrůd podle pekárenské kvality .....	43
5.2 METODIKA PRÁCE .....	44
5.3 METODIKA ELEKTRONOVÉ MIKROSKOPIE .....	45
5.4 LABORATORNÍ POSTUPY .....	45
5.5 STATISTICKÁ ANALÝZA DAT .....	45
<b>6 VÝSLEDKY</b> .....	<b>47</b>



6.1	PARAMETRY U MALÝCH ŠKROBOVÝCH GRANULÍ.....	47
6.2	PARAMETRY U VELKÝCH ŠKROBOVÝCH GRANULÍ .....	50
<b>7</b>	<b>DISKUSE .....</b>	<b>54</b>
7.1	ČÍSLO POKLESU .....	54
7.2	SEDIMENTAČNÍ INDEX .....	54
7.3	GLUTEN INDEX .....	55
7.4	OBSAH DUSÍKATÝCH LÁTEK .....	55
7.5	FARINOGRAFICKÉ VLASTNOSTI.....	55
7.5.1	Vývin, stabilita .....	55
7.5.2	Farinografické číslo kvality .....	55
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>56</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>57</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>63</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>64</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>65</b>
	<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>66</b>

## ÚVOD

Obiloviny jsou jednou z nejstarších plodin pěstovaných pro lidskou obživu. Už ve starověku patřili mezi významné složky potravin. Pšenice ozimá je naší nejpěstovanější obilovinou a to i přesto, že je náročná na půdní podmínky a výživu.

Struktura pšeničného zrna je tvořena ze tří částí: vnitřní škrobový endosperm, klíček a vnější obalová vrstva. Základními chemickými složkami pšenice jsou polysacharidy a bílkoviny. Polysacharidy obilných zrn dělíme zpravidla na škrob a na skupinu neškrobových polysacharidů. Škrob je obsažen v zrnech obilovin v endospermu a tvoří přibližně 60-75 % sušiny obilky. Obsah škrobu v mouce, která je tvořena převážně endospermem, je 80 %. Škrob se obecně a tedy i v obilovinách vyskytuje ve formě škrobových zrn.

Pro technologickou kvalitu pšeničného zrna jsou dány kvalitativní parametry, jejichž hodnoty úzce souvisí s ostatními složkami a rovněž mají vztah na kvalitu příslušných výrobků.

Cílem této práce bylo zjistit, zda se naměřené odrůdy pšenice vzájemně liší a zda nějakým způsobem ovlivňují technologickou kvalitu.

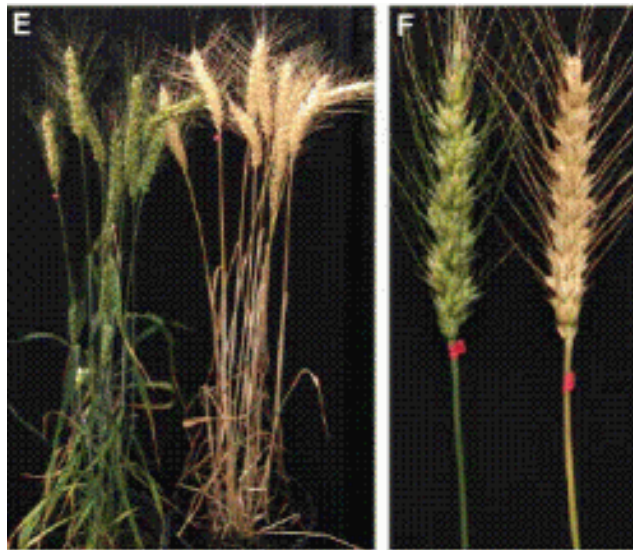
K výzkumu bylo použito celkem 21 odrůd potravinářské pšenice rozdílné pečárenské kvality. Odrůdy byly pěstovány za stejných podmínek, všechny sklizeny v r. 2009 a vyhodnoceny skenovacím elektronovým mikroskopem. Hodnoceny byly vztahy mezi technologickou kvalitou a charakteristikami mikrostruktury endospermu.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 PŠENICE

Pšenice se pravděpodobně vyvíjela z předků pýru podrodu *Elytrigia*. [1]

Pšenice (*Triticum*) je rod jednoděložných rostlin z čeledi lipnicovitých (*Poaceae*) s přibližně 20 druhy. Zahrnuje jak šlechtěné tak planě rostoucí druhy. Pšenice jsou jedny z nejstarších rostlin pocházejících z jihozápadní Asie. [2]



Obr. 1 Pšenice ozimá (*Triticum aestivum*)

Pšenice mají duté kolénkaté stéblo. Květenstvím je kláskový lichoklas s obilkami s výraznou podélnou rýhou. Plevy jsou široké a mnohožilnaté, pluchy jsou hladké, pluška je blanitá a osina je přisedlá k vrcholu pluchy. Plodem je tedy obilka, která zůstává až do zralosti volná a nesrůstá s pluchou a pluškou, což nazýváme nahé pšenice. Pšenice, u kterých přirůstá obilka k pluše a plušce, jsou nazývány pšenicemi pluchatými (plevnatými). [3]

Tento rod je obvykle členěn na 3 podrody:

1) diploidní pšenice se 14 chromozomy ( $2n = 14$ ):

- ✚ pšenice planá jednozrnka (*Triticum boeoticum* Boiss.)
- ✚ pšenice kulturní jednozrnka (*Triticum monococcum* L.)

2) tetraploidní pšenice s 28 chromozomy ( $2n = 28$ ):

- ✚ pšenice planá dvouzrnka (*Triticum dicoccoides* Körn.)
- ✚ pšenice dvouzrnka (*Triticum dicoccum* Schrank)
- ✚ pšenice Timofejevova (*Triticum timopheevi* Zhuk.)
- ✚ pšenice tvrdá (*Triticum durum* Desf.)
- ✚ pšenice naduřelá (*Triticum turgidum* L.)
- ✚ pšenice polská (*Triticum polonicum* L.)

3) **hexaploidní** pšenice se 42 chromozomy ( $2n = 42$ ):

- ✚ pšenice špalda (*Triticum spelta* L.)
- ✚ pšenice setá (*Triticum aestivum* L. emend. Fiori et Paol.)

Pluchaté pšenice jsou: pšenice špalda (*T. spelta* L.), pšenice jednozrnka (*T. monococcum* L.) a pšenice dvouzrnka (*T. dicoccon* Schrank).

Pšenice nahé jsou: pšenice polská (*T. polonicum* L.), pšenice setá (*T. aestivum* L.), pšenice tvrdá (*T. durum* Desf.), pšenice naduřelá (*T. turgidum* L.) a pšenice shloučená (*T. compactum* Host).

Pšenici stavíme na první místo mezi obilninami, protože zabezpečuje výživu převážné části lidstva na naší planetě. [4]

K potravinářským účelům se využívá 28 – 32 % z celkové produkce pšenice v ČR, ke krmným účelům 55 – 58 % a na osivo asi 6 % aj.. [5] Nezastupitelným významem pšenice spočívá ve využití zrna jako důležitou surovinou pro potravinářské a krmivářské zpracování. [6]

Zpracovávají se také stébla (sláma) a otruby (semenné slupky) a mouka. Výhodou pšenice, tak jako u jiných obilovin, je poměrně jednoduchá skladovatelnost a dlouhá trvanlivost. Pšenice mají vysokou výživnou hodnotu. V Evropě jsou základní potravinářskou surovinou pro výrobu pečiva, těstovin a rozmanitých pokrmů. [7]

Průmyslově se využívá jako surovina k výrobě škrobu, lihu nebo piva, uvažuje se o energetickém využití pšeničné biomasy jako obnovitelného zdroje energie. [7]

Pšenice má velmi dobrou klíčivost, vysoký obsah vlákniny a některých biologicky cenných látek jako jsou vitaminy z řady B, vitamin E,  $\beta$ -karoten, z minerálů draslík, fosfor, hořčík, křemík a vápník. Pšenice se pouze čistí a je tedy v přirozeném stavu, proto se používá ke kuchyňskému nakličování, dále k velkému množství kuchyňských úprav (máčení, vaření, pražení, mletí, šrotování). [8]

### 1.1 Pěstování pšenice

Pšenice je naší nejvýznamnější obilninou. Zaujímá zhruba polovinu plochy obilnin (51 až 52 %) a díky relativně vysoké úrovni i stabilitě výnosů představuje produkční jistotu ve všech výrobních oblastech ČR. Díky obecnému pokroku ve šlechtění a aplikaci moderních pěstebních technologií poskytuje každoročně kolem 55 % české produkce obilovin.

Roční produkce pšenice v ČR se pohybuje okolo 4 mil. tun. Roční spotřeba na osivo představuje cca 190 tis. t (4,7 % průměrné produkce), na mouku a potravinářské výrobky cca 1 200 tis. t (30 % průměrné produkce) a na ostatní účely užití (krmiva, průmyslové využití, export) cca 65 % průměrné produkce (cca 2 600 tis. t). [9]

V ČR se ozimá pšenice pěstuje ve všech výrobních podmínkách, které však značně působí na výši dosahované produkce i na její kvalitu. [10]

Výnosy a jakost pšenice závisí na celé řadě genetických, agrotechnických a environmentálních faktorů, z nichž pouze agrotechnické faktory mohou zemědělci cíleně ovlivňovat. [3]

Podle definitivních údajů ČSÚ k 31. 1. 2010 bylo v roce 2009 u pšenice celkem dosaženo průměrného výnosu ve výši 5,24 t/ha, což představuje ve srovnání s předchozím rokem mírný pokles o 0,53 t/ha (tj. o 9,2 %). Snížení výnosu u ozimé pšenice o 0,55 t/ha (tj. o 9,4 %) na 5,33 t/ha je způsobeno jednak v důsledku méně příznivých klimatických podmínek přes zimní období (místy holomrazy) a jednak vlivem suchého a slunečného počasí v období duben a květen 2009, tedy v době, kdy se formují generativní orgány rostlin, které mají podstatný vliv na výši výnosů. Pšenice jarní zaznamenala mírnější pokles hektarového výnosu ve srovnání s předchozím sklizňovým rokem 2008 o 0,43 t/ha, tj. o

11,2 %. Dosažený průměrný hektarový výnos ozimé pšenice v roce 2009 tak znovu potvrzuje její významné postavení mezi ostatními obilninami. V dlouhodobé časové řadě je výnos srovnatelný s ročníkem 2005 (5,15 t/ha). [11]

Tab. 1 Sklizeň pšenice ozimé v ČR v letech 2009 a 2010 (ŽNĚ)

	r. 2009	r. 2010
Podíl sklizených ploch (%)	99,73	90
Průměrný výnos (t/ha)	5,52	5,2

V roce 2010 se celkem sklídilo 3 693 348 t pšenice ozimé. [12]

Pěstování pšenice závisí na mnoha faktorech. Důležité je věnovat pozornost stanovištním poměrům, řazení plodin v osevním sledu (předplodina), zpracování půdy, termínu výsevu, typu odrůdy a zvolenému užitkovému směru pěstování (pekařská nebo krmná pšenice). Všechny tyto faktory ovlivňují náklady na zakládání a vedení porostů pšenice. [3]

Pěstování pšenice souvisí také se změnami v uspořádání osevních sledů. Obvykle bývá pšenice řazena po listových plodinách, což znamená po všech plodinách v osevním sledu kromě obilovin. V malém rozsahu se jako předplodina využívají zrnové leguminózy (hrách, lupina) a brambory. Ve větší míře se pšenice pěstuje v monokultuře (přímý výsev). Pšenice pěstovaná v monokultuře reaguje citlivěji na agrotechnické nedostatky a vyžaduje vesměs vyšší dávky dusíkatých hnojiv a přípravků na ochranu rostlin. Výnosová úroveň je v monokultuře nižší než při řazení pšenice po kukuřici nebo listových plodinách. [3]

Výnos a kvalita pšeničného zrna, jak vyplynulo z analýzy sklizňových vzorků z let 2002 – 2009 je nejvyšší po předplodině luskovině. Předplodina luskovina pozitivně ovlivnila výnos zrna (6,5 t/ha), objemovou hmotnost (78,6 kg/ha), obsah dusíkatých látek (12,7 %) i jejich pekárenskou kvalitu (SEDI= 39 ml). Vysokých výnosů (6,5 t/ha) zrna s téměř stejnými průměrnými hodnotami sledovaných parametrů bylo dosahováno také po předplodině okopanině. [9]

Nejnižších výnosů zrna s nejnižší pekárenskou kvalitou bylo dosahováno, pokud byla pšenice pěstována po předplodině obilnině nebo kukuřici. Předplodina obilnina a kukuřice významně snižovaly výnos zrna a obsah dusíkatých látek. Pšeničné zrno pěstované po předplodině kukuřici mělo dále ještě průkazně nižší sedimentační index, čímž byla průkazně snížena pekárenská kvalita. [9]

Bylo zjištěno, že aplikací vyšších dávek dusíkatých hnojiv, pěstováním nových odrůd pšenice a lepší ochranou rostlin nemůže být vliv předplodiny na výnos pšenice zcela eliminován. [3]

## 1.2 Faktory ovlivňující technologickou kvalitu pšenice

V oblasti řešení otázek kvality pšenice jako suroviny pro potravinářské využití je hodně problematická. Získání dostatečného množství jakostní suroviny si žádá úzké propojení s prvovýrobou a zainteresování všech částí: surovina -> skladování -> finální výrobek -> výzkum. [7]

Hodnocení kvality pšenice ze všech aspektů – technologického, nutričního, hygienického, sensorického – je velmi komplikované už jen tím, že některé složky kvality se dají spojovat a některé se vylučují. Informace o složení zrna, který získáme při hodnocení rozborů správně zvolených znaků jakosti nám však umožní předpokládat, jak se zrno bude chovat v mlýnech a do určité míry i jak se vymletá mouka projeví v konkrétních technologiích. Objektivně posoudit kvalitu lze hned po sběru. [7]

Kvalita potravinářské pšenice je značně ovlivněna nejen pěstitelskými zásahy, ale i klimatickými podmínkami, zráním a dozráváním zrna. [13]

Vysoké nároky jsou kladeny jak na mechanické vlastnosti zrna, tak i na jeho chemickém složení. [14] Pekárenská kvalita pšeničného zrna je ovlivňována zejména obsahem a vlastnostmi pšeničných bílkovin, jejichž syntéza závisí na půdně-klimatických faktorech. [15]



### 1.2.1 Odrůda

Při správném výběru odrůdy je třeba se zabývat plasticitou odrůdy, vhodností do daných podmínek a způsobem využití produkce. [16]

Praktické požadavky na potravinářskou pšenici se soustředí na zrno s dostatečným obsahem kvalitního lepku a s dobrými mlecími vlastnostmi, především vyhovující tvrdostí. Je všeobecně známé, že tyto jakostní parametry pšenice závisí na odrůdě, od jejich geneticky zafixovaných vlastností. Odrůda se na množství lepku podílí 24 % a pěstitelské podmínky 75 %. Na jakost lepku má ale odrůda podíl 68 % a prostředí 32 %. Podobně jako u tvrdosti zrna. [7]

### 1.2.2 Tvrdost zrna

Struktura endospermu, která určuje jeho tvrdost, je dána především genetickým základem odrůdy. Diference v tvrdosti různých odrůd pšenice vyplývají z vazeb mezi škrobovými zrny a zásobními bílkovinami. [17]

Hlavní fakt ovlivňující tvrdost zrna je zejména vlastní tvrdost hlavních složek zrna (škrob a bílkoviny), síla mezibuněčných vazeb a způsob vazby jednotlivých buněk při vytváření obalových vrstev zrna. [7]

Všechny nezralé zrno jsou sklovitá. S postupným dozráváním se však některé zrno stávají škrobnatá. Endospermové buňky měkkých pšenic jsou uloženy v matici, která se při mletí lehce drtí. Proto škrobové zrno zůstávají relativně neporušená. Naproti tomu u endospermu tvrdých pšenic se štěpí nejen v bílkovinné matici, ale i napříč škrobových zrn. Proto mlecí produkty tvrdých pšenic mají ostrou granulovanou formu a jsou větší, zatímco měkké pšenice mají práškovitou formu. Endosperm zrno zralé pšenice má plastické a křehké vlastnosti. Struktura endospermu může rozhodovat o tvrdosti, především stav bílkovinné matrice, která má ve vyzrálém endospermu funkci spojovat hmotu buněk. Z nesouvislé bílkovinné matrice se škrobová zrno uvolňují lehce a neštěpí se, což je charakteristické pro měkké pšenice. U kompaktní souvislé bílkovinné matrice se během mletí škrobová granula uvolňují těžko, což je typické pro tvrdé pšenice. [7]

### 1.2.3 Hnojení

Významnou roli pro příznivý vývoj a růst pšeničného zrna sehraává výživa dusíkem. V případě nedostatku dusíku dochází k omezení tvorby nadzemní biomasy. [18] Dále je narušena proteosyntéza, zrna má nízkou hmotnost a výrazně zhoršené technologické parametry. Mouka získaná semletím takového zrna je pekařsky slabá a nedosahuje požadované kvality. [19]

Potřeba dusíku u pšenice závisí na výši očekávaného odběru této živiny rostlinami. Při kalkulaci dusíkatého hnojení je nejprve potřeba přihlédnout k přísunu mineralizovaného dusíku z půdy. Přeměna dusíku v půdě probíhá ve vegetačním období nerovnoměrně a je ovlivněna především půdními vlastnostmi a klimatickými podmínkami. Při stanovování dávky dusíkatého hnojiva je vedle půdních vlastností důležité zohlednit také další faktory jako předplodinu, typ odrůdy, odnožování a aktuální počasí. [3]

Kromě dusíku je pro zvýšení kvality a zajištění optimálního nutričního složení zrna důležitá i přítomnost síry. [20] Obiloviny potřebují síru především k syntéze aminokyselin cystinu a methioninu, k syntéze bílkovin a k tvorbě dalších, pro látkovou výměnu esenciálních sloučenin (enzymů, koenzymů). Na obsah bílkovin v pšenici má zásobením sírou většinou jen velmi malý vliv. Mnohem větší význam má oproti tomu vliv síry na složení lepkových bílkovin. Při nedostatku síry se zvyšuje podíl gliadinu (bez obsahu síry) a gluteninu (s nízkým obsahem síry). Oproti tomu se snižuje podíl lepkové bílkoviny gliadinu (s vysokým obsahem síry). [3]

Rozdílné dávky síry a dusíku v pšenici mohou ovlivnit nejen obsah a složení bílkovin, ale i vlastnosti těsta. [21]

Pokud má zrna vysoký obsah dusíku, může se zvýšit poměr N/S až do té míry, že se síra může stát deficitní. Pak dochází k tomu, že celkové množství bílkovin je sice zachováno, ale množství lepku je pozmeněno. [22]

Bylo zjištěno, že zvýšená dávka hnojiv příznivě ovlivňuje množství hrubého proteinu (N-látek) a na množství lepku. Poměrně nízká a často nevyhovující biosyntéza bílkovin v zrně pšenice je důkazem toho, že rostoucí dávky dusíku jsou využívány na tvorbu úrody. Při správné aplikaci dusíkatých hnojiv se však dá předpokládat eliminace vlivu ročníku a

oblasti na množství bílkovin v zrně. Dávky dusíku se uplatňují při formování produkce v různých povětrnostních podmínkách. [7]

#### 1.2.4 Termín setby a výsevku

Výsevek je důležité přizpůsobit lokalitě, půdním a vláhovým podmínkám a technologii zakládání porostů. Za standardních podmínek je doporučena hloubka setí 3 – 4 cm. Konečný výsevek je třeba upravit podle skutečných osivových hodnot deklarovaných dodavatelem osiva. Setí je základní operace založení porostu. Pro dobré zasetí a založení porostu je třeba dobře připravit a vyhodnotit následující faktory:

- ✚ Kvalita osiva
- ✚ Kvalita přípravy půdy, vláhových podmínek, typu secího stroje
- ✚ Hloubka setí
- ✚ Termín setí
- ✚ Výsevek a termín setí
- ✚ Přehuštěné porosty
- ✚ Kolejové řádky

Při raném setí se sníží výsevek o 10-15 %, při pozdním setí se zvýší výsevek o 10-15 %. Výsevek a termín setí rozhoduje o hustotě porostu a zda-li jsou porosty přehuštěné, hrozí jim nebezpečí poléhání a šíření chorob. Kolejové řádky umožňují přesnější chemické ošetření.[9]

Bylo zjištěno, že pro včasnou setbu, na začátku agrotechnického termínu jsou vhodné odrůdy s dobrým zdravotním stavem, dost odolné proti poléhání. Pro setbu ke konci agrotechnického termínu jsou vhodné odrůdy dobře regenerující na jaro, které vytvářejí produktivní klas z jarních odnoží. Pro odrůdy náchylnější na napadení houbovými chorobami, citlivější na vyzimování je nejvhodnější střední termín setby (v teplejších regionech 1. – 15.10., v chladnějších 25.9. – 5.10.). [7]

Později setá pšenice je v porovnání s pšenicí zasetou v termínu citlivější na všechny výkyvy počasí. Je-li rok teplý a sušší, naroste příliš krátké stéblo a úroda klesá. Je-li květen vlhký, stéblo se naopak prodlouží, sníží se podíl zrn z celkové nadzemní hmoty a úroda opět klesá. [7]

### 1.2.5 Počasí

Na základě statisticky zpracovaných údajů z minulých let je možné pozorovat vliv počasí na jakost a výnos pšenice. [23] Je známo, že území vyznačující se teplejším a sušším podnebím tvorby a dozrávání zrna jsou vhodnější pro biosyntézu technologicky i nutričně významných bílkovin. [7]

Vyšší teploty v období tvorby zrna se projevují zvýšeným dýcháním rostlin, čímž se sníží množství asimilátů sacharidové povahy a zvýší se podíl bílkovin. Delší působení vyšší teploty vzduchu (nad 25 °C) však urychluje stárnutí asimilačního aparátu horní části rostliny, a to má za následek menší produkci asimilátů převedených do zrna. Vede to často ke snížení úrody a z hlediska plynárenské jakosti je nepříznivý i podíl plných zrn, což ovlivňuje objemovou hmotnost a výtěžnost mouk a krupic. Množství srážek je zase negativní k obsahu bílkovin a lepku. Vyšší teploty v jarním a letním vegetačním období dávají předpoklad vyšší pekárenské jakosti díky zvýšenému množství bílkovin. Světelný režim, vlhkost půdy, její teplota a provzdušněnost mají také velký vliv na vývoj a vlastnosti pěstované pšenice. Příliš vysoká vlhkost způsobuje vymývání rozpustných forem dusíku z půdy, což ochuzuje porost a jako převládající nízké teploty, také způsobují zpomalování mikrobiálních procesů v půdě a přijímání látek kořenovou soustavou. Snížená teplota narušuje syntetické procesy tvorby bílkovin a v rostlinách se hromadí jednoduché dusíkaté látky. [7]

Z hlediska budoucnosti změn klimatu lze očekávat změny nejen v posunu plodin do vyšších nadmořských výšek, ale i ke zkrácení období mezi setím a zralostí. [24]

Ideální průběh počasí pro vysokou úrodu a dobrou jakost zrna jsou bohaté srážky do fáze květení s následnou vyšší teplotou vzduchu bez výrazných výkyvů a s přiměřenou (ne vysokou) vlhkostí půdy. V poslední dekádě před sběrem má převládat vypařování nad srážkami – teplé a suché počasí, ne však extrémně s vysokými teplotami. [7]

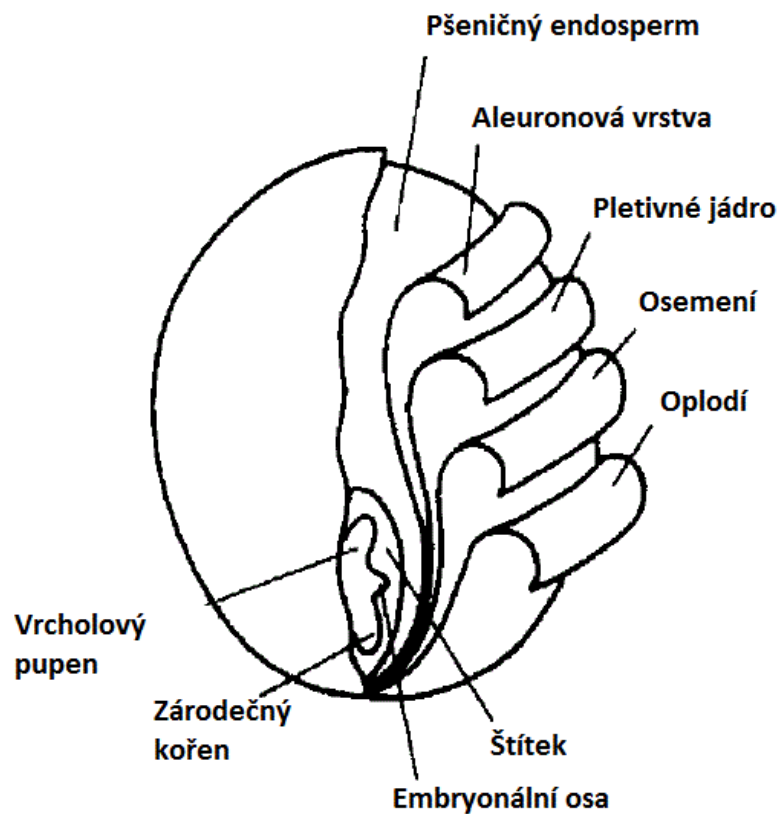
Nejsilnější příčinou změn všech důležitých technologických vlastností potravinářské pšenice je proměnlivost počasí v roce a odrůd. Velká proměnlivost počasí na našem území ztěžuje vytváření optimálních podmínek pro výrobu kvalitní pšenice v každém roce. Je tedy nevyhnutelné soustavně zkoumat vliv pěstitelských technologií v souvislosti s

klimatickými podmínkami, průběh počasí v jednotlivých ročnících a biologickým materiálem na jeho využitelnost ve výživě lidí. [7]

### 1.3 Struktura pšenice

Obilka pšenice je nažka, u níž oplodí nesrůstá s osemením. [25]

Obiloviny mají mnoho konstrukčních a vývojových rysů. Základní složkou je embryo, ale pro využití lidmi je důležitou částí endosperm. Díky jednoduchosti endospermu jsme schopni objasnit základní mechanismy chování buněk. [26]



Obr. 2 Stavba obilky

#### 1.3.1 Tvar a velikost pšeničného zrna

Pšeničné zrnko je nenahraditelnou surovinou na výrobu kynutých pečárenských výrobků. Používá se na výrobu různých druhů pečivárenských výrobků, snídaňových cereálií,

těstovin a mnoha dalších výrobků. Pšeničné zrna se stává rovněž nedílnou součástí krmných směsí, je surovinou pro výrobu škrobu a etanolu. [27]

Tvar, velikost a hmotnost zrn jsou velmi snadno identifikovatelné pro jednotlivé druhy obilovin. Nicméně v rámci druhů jsou velké variace a morfologie může mít velkou asociaci s parametry kvality. U obilok kmenů Triticeae (pšenice, žito, ječmen) a Aveneae (oves) je membrána táhnoucí v celé délce a nejhlubší uprostřed. To je nejvýraznější u pšenice (např. *Triticum aestivum* L. a dalších druhů např. *T. durum*, *T. compactum*), žita (*Secale cereale* L.), ječmene (*Hordeum vulgare* L.) a ovsu (*Avena sativa* L.). Při výrobě bílé mouky může membrána zaniknout a to může představovat největší problém pro separaci škrobového endospermu od ostatních tkání. Velikost zrna je ovlivněna podmínkami pěstování a květenstvím. Je důležité rozlišovat vlastní velikost zrna jako odrůdové, omezení velikosti nebo vysychání. Vysychání se děje díky špatné výživě rostliny nebo nemoci. Vysychání je téměř vždy projevem špatného endospermu - malé, buclaté pšeničné vyrobené na malé zrnité odrůdy mají rozměry endospermu stejné jako u velkých zrnitých odrůd. [26]

Bez ohledu na velikost či tvar jednotlivých zrn, jednotnost jejich morfologie je velice důležitá pokud jde o zpracování. [26]

### 1.3.2 Embryo

Embryo (klíček) je nejdůležitější obilná komponenta pro přežití druhů. Embryo obsahuje vysoké množství lipidů a vitamínů rozpustných v tucích. Má také nejvyšší obsah vlhkosti ve zralém obilí. [26]

Klíček zaujímá 1,5 až 4 % hmotnosti a je uložen na hřbetní straně obilky. Obsahuje mnoho živin, protože slouží jako zárodek pro nové rostliny. Mimo jednoduchých cukrů obsahuje klíček bílkoviny, aminokyseliny, vitamíny rozpustné ve vodě a značné množství vitamínu E. V klíčku je rovněž obsažen tuk, proto jsou klíčky před mletím odstraněny tak, aby v získané mouce nebyl tuk hydrolyzován a nevznikla žluklá chuť. [28]

### 1.3.3 Endosperm

Endosperm (84 – 86 % hmotnosti zrna) obsahuje značné množství rezervních látek. Hlavním obsahem jeho buněk jsou kromě škrobových zrn různá množství bílkovin. [29]

V endospermu jsou uloženy rezervní látky, a to škrobová zrna v moučném jádře a bílkoviny v aleuronové vrstvě umístěné po obvodu endospermu. Od obalových vrstev je endosperm oddělen vrstvou aleuronových buněk, obsahujících vysoký podíl bílkovin, který je téměř třikrát vyšší než v endospermu. Aleuronové buňky také vysoký obsah minerálních látek, tuků a vitamínů. [28][30]

Aleuronové buňky v pšenici jsou cca 50  $\mu\text{m}$  velké. Pigmentace v aleuronové vrstvě může dát zrnům některých obilovin např. modrý, červený nebo téměř černý vzhled. Buněčná stěna z typických aleuronových buněk je rovnoměrně silná a v dospělosti má výrazné dvě vrstvy. Aleuronová buněčná stěna obsahuje vysokou koncentraci kyseliny ferulové. Při frézování otrub je odstraněna většina částí z aleuronové vrstvy. [26]

Ve zralém škrobovém endospermu jsou škrobová zrna zakotvena v proteinové matrix. Tyto dvě součásti, spolu s buněčnou stěnou jsou zdrojem živin. Škrobový endosperm buňky je poměrně jednotný a jeho komponenty jsou stejné. Pro zrna se záhyby se koncentrace škrobu zvyšuje vzdáleností od okraje. Pšenice má tenké stěny a obsažené buňky se mohou rozdělit na: periferní buňky, prizmatické buňky a centrální buňky. Periferní buňky jsou obsaženy v aleuronové vrstvě. Pod touto vrstvou leží prizmatické buňky, které jsou 128-200  $\mu\text{m}$  dlouhé a 40-60  $\mu\text{m}$  široké. Složení buněčné stěny se liší druhem obilovin. Ječmen a oves mají buněčné stěny bohaté na smíšené glukany, zatímco pšenice na arabinoxylany. [26]

#### 1.4 Struktura tvrdé a měkké pšenice

Makroskopicky a morfologicky jsou tvrdá a měkká pšeničná zrna podobná. Žádné rozdíly v jádře, rozměru a hmotnosti. Na světelném mikroskopu jsou viditelné tvrdé a měkké zrna obsahující velká škrobová zrna (A-typ granule) a menší kulová zrna B-typ granule. Byl však zjištěn malý rozdíl mezi odolností vůči deformaci škrobových granulí kultivované z tvrdé a měkké pšenice. Bylo prokázáno, že se škrobová granula liší v jejich průměrných plochách. Pomocí kvantitativní analýzy obrazu nějaké červené americké zimní odrůdy byly klasifikovány jako tvrdé nebo měkké na základě B-typ granulí. [31]

Měkká pšenice se vyznačuje nízkým obsahem lepku. Tvrdá pšenice obsahuje větší množství lepku, který zajišťuje tuhost a dobře drží tvar těsta. [32]

Rozdíl mezi měkkou a tvrdou pšenicí spočívá v rozdílném podílu obsahu škrobu a dusíkatých látek. Některé obsahují max. 8 % dusíkatých prvků, jiné pšenice obsahují 18 – 20 %, s odpovídajícím poklesem uhlíkových prvků. Tento rozdíl závisí na půdě, pěstování, období, klimatické a další podmínky, za nichž se vyrábí obilí. [33]

Rozdíly ve struktuře mezi tvrdým a měkkým zrnem jsou více patrné pomocí SEM nebo transmisní elektronové mikroskopie (TEM). V řezu u zralé tvrdé pšenice byla zkoumána jednotná struktura endospermu se škrobovými zrny, vložená do okolní proteinové matrix. Měkká pšenice má mnohem více narušenou strukturu bílkovinné matrix a v mnoha případech se vytáhl od škrobových granulí. [31]

Protein je obsažen v obilném zrně přibližně 10-13 % a skládá se hlavně z gliadinu a gluteninů. Obsah bílkovin se může lišit kultivací v závislosti na životním prostředí, za kterých je pěstována pšenice. I když bylo zjištěno, že složení zásobních bílkovin nemá žádný významný vliv na tvrdost obilí, tak bylo přesto dokázáno, že měkké pšenice mají vyšší obsah bílkovin (13,7 %) než tvrdé pšenice (11,8 %). [31] V pekárenské praxi se běžně užívají termíny silná a slabá mouka. Silné mouky dávají pevná, pomalu zrající těsta a jsou schopné vázat hodně vody. Těsta vyrobená ze slabých mouk se roztékají, jsou měkká, vážou málo vody a rychle kvasí. [34]



## 2 PŠENIČNÝ ENDOSPERM

Pro pšeničný endosperm jsou z mlynářského hlediska důležité především tyto tři ukazatele – tvrdost, sklovitost a denzita (hustota). Názory na konkrétní použití jednotlivých ukazatelů k charakterizování endospermu obilky však nejsou zcela jednoznačné. [35]

Pšeničný endosperm má výrazný dopad na mletí, který ovlivňuje mimo jiné i velikost částic a výnos. Tvrdost pšenice je z velké části řízen genetickými faktory, ale to může být ovlivněno životní prostředí a faktory, jako jsou vlhkost, lipidy a obsah pentosanů. Hlavní genetický lokus kontroluje endosperm textury v pšenici a nachází se na chromozomu 5D. Rozdíly v endospermové textuře mohou být detekovány v rozvojových osivech. Role životního prostředí a další faktory, které mohou ovlivnit endosperm textury je potřeba zkoumat společně. [31]

Endosperm textury je jedním z nejdůležitějších znaků jakosti pšenice. Do značné míry je to také určeno tím, jak je pšenice zpracována. Textura endospermu nebo relativní tvrdost nebo jemnost zrna může být definována jako měřítko odolnosti proti deformaci. Na základě této definice se měří tvrdost jednotného charakteristického jádra v systému. Bylo zjištěno, že u tvrdých pšenic je tvrdost kolem 75, zatímco u měkkých pšenic 30. [31]

Vlastnosti endospermu pšeničného zrna se projevují mimo běžně stanovovaných ukazatelů také různou tvrdostí zrna. Tato charakteristika ovlivňuje mlynářské a pekařské vlastnosti při zpracování. Rozdílné výsledky při mletí zrna (podíl druhů mouky a krupice a množství odpadu) jsou ovlivněny velikostí a tvarem zrna, velikostí a hloubkou podélné rýhy a také strukturou endospermu – jeho tvrdostí. Charakter endospermu působí na velikost a tvar vymletých částic. Tyto znaky jsou považovány za důležité mlynářské ukazatele, protože ovlivňují chování surovin při mletí a pečení. Tvrdost velmi dobře koreluje s výtěžností krupice a pšeničné mouky. Byla zjištěna korelace tvrdosti se sklovitostí pšenice. Úzký vztah mezi tvrdostí a spotřebou energie na mletí je znám z praxe. Pro optimální režim drcení zrna je považována pšenice s vyrovnanou tvrdostí, protože umožňuje standardní hydrotermickou přípravu před mletím. Z toho důvodu patří tvrdost pšenice mezi kvalitativní znaky určující zařazení do jakostních tříd. [17]

## 2.1 Složení endospermu

Pšeničný endosperm obklopuje embryo (klíček) a obsahuje kromě škrobu, který slouží především jako výživa, také bílkoviny a oleje. [36]



Obr. 3 Pšeničný endosperm

Proteiny pšeničného endospermu se klasicky dělí podle rozpustnosti do čtyř skupin:

- ✚ ve vodě rozpustné albuminy (asi 15 % celkových bílkovin),
- ✚ globuliny rozpustné v soli (0,5M NaCl; asi 5 % celkových bílkovin),
- ✚ monomerní gliadiny nerozpustné ve vodě/soli (asi 40 % celkových bílkovin),
- ✚ polymerní glutenin, který je tvořen subjednotkami o vysoké (HMW-GS) a nízké (LMW-GS) molekulové hmotnosti, které jsou spojeny disulfidovými (SS) vazbami. [37]



wheat endosperm. Cross section. Light microscopy, toluidine blue

Obr. 4 Struktura pšeničného endospermu

## 2.2 Vývojové změny endospermu

Textura endospermu u pšenice a ostatních obilovin je charakteristické pro zralé obilí. Bylo zjištěno, že měkké a tvrdé odrůdy by mohly být rozlišovány podle nezralé obilí. Faktory, které způsobují rozdíl v tvrdosti zrna jsou patrné již v nezralých zrnech. [31]

Zjištění, že měkkost nebo tvrdost zrna pšenice se projevuje v průběhu vývoje klade několik zajímavých otázek týkajících se možná příčina rozdílné textury v endospermu pšenice. Některé teorie, které vysvětlují tvrdost a měkkost v pšenici naznačují, že důležitým rysem může být adheze mezi škrobových zrn a okolní bílkovinné matrix. [31]

## 2.3 Škrob

**Škrob** (*amylum*) je makromolekulární látka (konkrétně směs polysacharidů glukánů) syntetizovaný rostlinami. Je to bílý prášek bez chutě a vůně, nerozpustný ve studené vodě. Jedná se o konečný produkt fotosyntézy rostlin. [38]

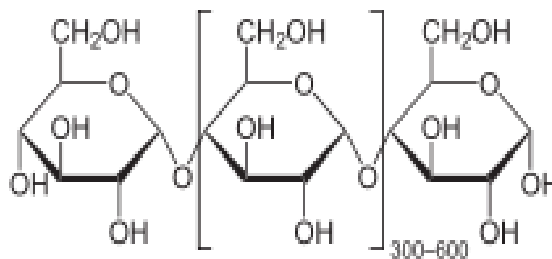
Škrob je hojně obsažen ve všech obilných zrnech. V pšeničném zrně je škrob obsažen v sušině ze 64 %. [39]

Škrob je zásobní polysacharid se vzorcem  $(C_6H_{10}O_5)_n$  složený z dvou různých polysacharidů: amylozy a amylopektinu, tvořených několika tisíci až desetitisíci molekulami glukózy. Škrob kromě glukózy obsahuje v malém množství lipidy, proteiny a zhruba 25–35 % vody. Škrob není alkoholicky zkvasitelný, teprve enzymaticky (v trávicí soustavě živočichů včetně člověka) se odbourává na zkvasitelné sacharidy. Zahříváním škrobu se tvoří škrobový maz, jeho hydrolyzou vzniká škrobový sirup, škrobový cukr a glukóza. Pražením škrobu se tvoří dextrin. Důkaz škrobu v neznámé látce se provádí roztokem jódu, jehož přítomnost prozrazuje modrofialové zbarvení. [38]

### 2.3.1 Struktura

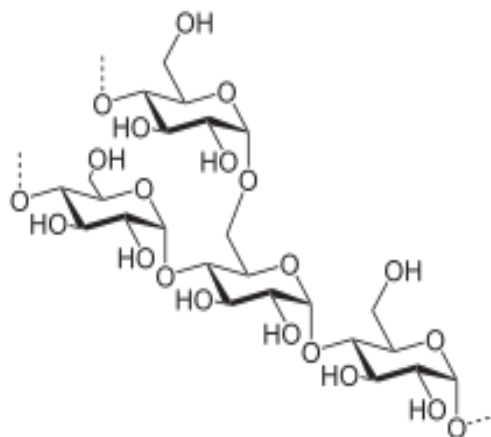
Škrob je hlavní zásobní živinou rostlin sloužící jako pohotová zásoba glukosy. Na rozdíl od strukturních polysacharidů, které jsou součástí buněčných stěn, se škrob nachází v organelách cytoplasmy nazývaných plastidy. V pletivech, kde probíhá fotosyntéza je v malém množství v chloroplastech, ve velkém množství v amyloplastech, speciálních buňkách kořenů, hlíz a semen. Je uložen v nerozpustných micelách zvaných škrobová zrna nebo škrobové granule, které mají specifický, geneticky daný tvar (kulatý, oválný aj.) a rozměry. Ukládání glukosy získané fotosyntézou ve formě škrobu silně snižuje velké intracelulární osmotické tlaky, kterým by jinak byly buňky vystaveny. [38]

Škrob se skládá ze dvou odlišných polymerů amylosy a amylopektinu. Amylosa se skládá z lineárních molekul (1-4)-spojených  $\alpha$ -D-glukopyranosové jednotky, zatímco amylopektin se skládá z velmi rozvětvené molekuly  $\alpha$ -D-glukopyranosové jednotky spojeny především (1-4) s pobočnými vazbami (1-6). Amylosa a amylopektin se liší v jejich schopnosti tvořit komplexy s mastnými kyselinami, alkoholy a jódem. Amylosy snadno tvoří komplexy s těmito sloučeninami, zatímco amylopektin ne. [40]

**Amylosa**

Obr. 5 Amylosa

Amylosa je lineární  $\alpha$ -D-(1->4)-glukan, a proto je vlastně polymerem disacharidu maltosy. V omezené míře dochází k větvení asi na deseti místech molekuly. Amylosa je částečně esterifikována kyselinou fosforečnou (pšeničný škrob obsahuje 0,05 % fosforu, bramborový 0,07-0,09 %), u obilných škrobů tvoří komplexy s lipidy. Molekula amylosy má jeden redukující zbytek monosacharidu. [38]

**Amylopektin**

Obr. 6 Amylopektin

Molekula amylopektinu se skládá z řetězců D-glukosových jednotek vázaných  $\alpha$ -(1->4) vazbami (polymer maltosy), z nichž se po 10-100 jednotkách odvětvují vazbou  $\alpha$ -(1->6) postranní řetězce (stavební jednotkou je isomaltosa). Výjimečně se mohou vyskytnout také vazby  $\alpha$ -(1->3). Stavební jednotkou takto vázané biosy je laminaribiosa. Asi na 400

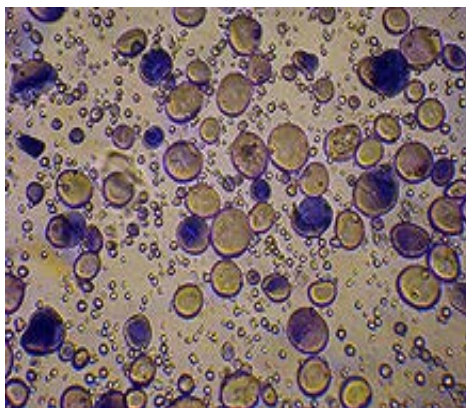
glukosových zbytků připadá jeden zbytek esterifikovaný kyselinou fosforečnou. Makromolekula má mnohonásobně větvenou strukturu, kterou tvoří 3 typy řetězců. [38]

### 2.3.2 Škrobová zrna

Škrob se vyskytuje v znu a v mouce ve formě škrobových zrn. Granule škrobu mají krystalové uspořádání a mohou být pozorovány např. pomocí elektronového mikroskopu. Škrob má vedle pšeničného lepku zásadní význam pro cereální technologii. Z fyzikálních vlastností škrobu jsou nejvýznamnější schopnost bobtnání, mazovatění a retrogradace. Škrobová zrna jsou ve vodě nerozpustná. Ve studené vodě mírně bobtnají, přijímají vodu a postupně začnou ztrácet svoji původní strukturu. Se zvyšující se teplotou nabývá bobtnání škrobových zrn na intenzitě. [41]

Průběh mazovatění lze sledovat na amylografu. Na počátku zahřívání zrna jen bobtnají, a tím zvětšují svůj objem. V důsledku toho stoupá viskozita suspenze. Při dalším zahřívání se do vody uvolňují molekuly amylosy a rozrušují se plně nabobtnalé části zbylého amylopektinu. Když zmazovatí veškerý nerozpustný škrob, začíná viskozita při neustálém míchání směsi klesat. [41]

Granule škrobu se liší v závislosti na rostlinném zdroji svoji ultrastrukturou, ale mají společný obecný model, jehož základem jsou radikálně uspořádané molekuly amylopektinu ve tvaru disku, v nichž jsou neredukující konce situovány ven z granulí a tvoří jejich povrch. V oblastech neredukujících konců a střední části řetězců se tvoří antiparalelní dvojité šroubovice s uspořádanou (krystalovou) třírozměrnou strukturou. V oblastech větvení řetězců má amylopektin a doprovázející jej amylosa neuspořádanou amorfní strukturu. Krystalové a amorfní oblasti se pravidelně střídají. [38]



Obr. 7 Škrobová zrna

Podle stupně krystalinity granulí (související s uspořádáním a chiralitou dvojitých šroubovic postranních řetězců amylopektinu v krystalických oblastech granulí) se rozeznávají 4 polymorfní formy škrobu označované A, B, C a V. [38]

Nejstabilnější **forma A** se vyskytuje u cereálních škrobů s výjimkou vysoce amylosových. Dvojitá spirála vytváří centrální kanál, který vyplňuje další dvojitý helix, v prostoru mezi oběma dvojitými helixy je vázaná voda (pevněji než u formy B).

Nejméně stabilní **forma B**, kde se v centrálním kanálu dvojitého helixu nacházejí pouze molekuly vody, se vyskytuje u škrobů kořenové zeleniny, brambor a u vysoce amylosových škrobů obilovin (s obsahem amylosy > 40 %).

**Forma C** je přítomna u luštěnin (zřejmě se jedná o kombinaci forem A a B). U želatinovaných škrobů s amorfní strukturou vzniká při retrogradaci nejprve méně stálá forma B, z ní vzniká forma C a ta přechází na nejstabilnější formu A.

**Forma V** se vyskytuje u želatinovaných škrobech obsahující lipidy, kde dochází k interakci amylosy s mastnými kyselinami.

Předpokládá se, že zrna A a B-škrobu mají ve vnitřní struktuře jinak uspořádanou amylosu a amylopektin. Výzkum optických map ukázal, že u čočkovitých zrn A škrobu tritikale, pšenice a ječmene jsou molekuly amylopektinu orientovány kolmo na osovou rovinu škrobového zrna a jsou uspořádány rovnoběžně. Molekuly amylopektinu, které obsahují více řetězců postranních, ale méně kratších řetězců hlavních, jsou válcovitého tvaru, což umožňuje jejich snadnější uspořádání do rovnoběžného uspořádání v čočkovitém škrobovém zru. [42]

### 3 ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE

Principem elektronové mikroskopie je to, že světelné paprsky jsou nahrazeny svazkem urychlených elektronů, jehož vlnová délka, výrazně nižší než vlnová délka světla, je závislá na urychlujícím napětí (lze dosáhnout 6 pm). Skleněné čočky, regulující sbíhavost a rozbíhavost paprsku světla u optického mikroskopu, jsou zde nahrazeny elektromagnetickými čočkami. [43]

Elektronový mikroskop je stejně jako světelný mikroskop optický přístroj, ve kterém jsou ale fotony nahrazeny elektrony a skleněné čočky elektromagnetickými čočkami. Elektromagnetická čočka je v podstatě cívka, která vytváří vhodně tvarované magnetické pole. Jedním ze základních parametrů všech mikroskopů je jejich *mezní rozlišovací schopnost*. Protože mezní rozlišovací schopnost je úměrná vlnové délce použitého záření a elektrony mají podstatně kratší vlnovou délku (viz vlnové vlastnosti elektronu) než má viditelné světlo, má elektronový mikroskop mnohem vyšší rozlišovací schopnost a může tak dosáhnout mnohem vyššího *efektivního zvětšení* (až 1 000 000×) než světelný mikroskop. [44]

Elektronový mikroskop je obdobou mikroskopu optického. Místo světelných paprsků však využívá usměrněný proud elektronů ve vakuu. Elektronové mikroskopy dělíme na dva základní typy: transmisní elektronový mikroskop (TEM) a rastrovací – skenovací elektronový mikroskop (REM nebo SEM). [43]

#### Typy:

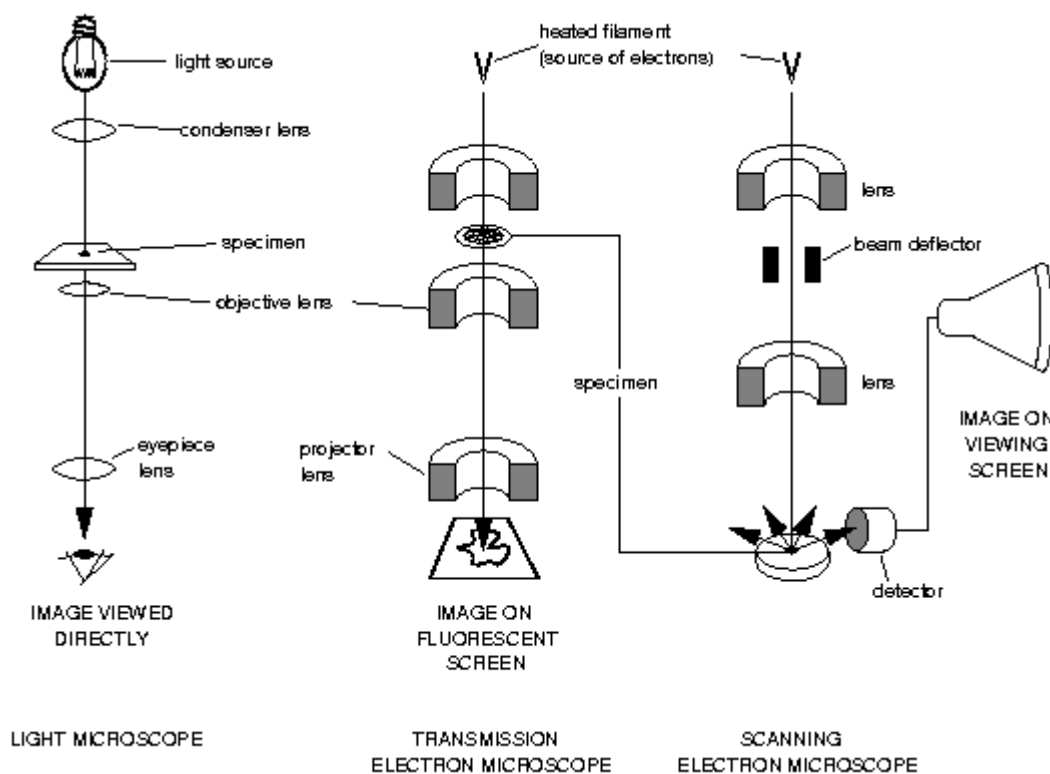
- ✚ transmisní elektronový mikroskop (TEM) – zobrazení vnitřní struktury vzorku pomocí prošlých elektronů (TE). Urychlovací napětí elektronů je 100-400kV. První TEM vynalezl a zkonstruoval Ernst Ruska v roce 1931 a v roce 1986 získal za svůj objev Nobelovu cenu. TEM byl první komerčně vyráběný typ elektronového mikroskopu. [44] Transmisní elektronový mikroskop je možné popsat jako složité technické zařízení, které umožňuje pozorování preparátů do tloušťky 100 nm při vysokém zvětšení a s velkou rozlišovací schopností. [45]
- ✚ rastrovací elektronový mikroskop (SEM) – zobrazení povrchu vzorku nejčastěji pomocí sekundárních elektronů (SE) a nebo zpětně odražených



elektronů (BSE). Urychlovací napětí elektronů je nejčastěji 0,1-30kV. První SEM byl zkonstruován V.K. Zworykinem a kol. v roce 1942. Jednoduchá příprava vzorků a snadná interpretace obrazu (narozdíl od TEM) činí SEM velmi populárním a rozšířeným. [44] Skanovací elektronový mikroskop je přístroj určený k pozorování povrchů nejrůznějších objektů. Je ho možné do jisté míry považovat za analogii světelného mikroskopu v dopadajícím světle, na rozdíl od něho je výsledný obraz tvořen pomocí sekundárního signálu - odražených nebo sekundárních elektronů. Velkou předností SEM v porovnání se světelným mikroskopem je jeho velká hloubka ostrosti, v důsledku které lze z dvojrozměrných fotografií ze SEM nalézt jistý trojrozměrný aspekt. [45]

Další předností těchto mikroskopů je, že v komoře preparátů vzniká při interakci urychlených elektronů s hmotou vzorku kromě výše zmíněných signálů ještě řada dalších, např. rtg. záření, Augerovy elektrony, katodoluminiscence, které nesou mnoho dalších informací o vzorku. Při jejich detekci je možné určit např. prvkové složení preparátu v dané oblasti a při porovnání s vhodným standardem určit i kvantitativní zastoupení jednotlivých prvků. V literatuře se kromě názvu skanovací používá i označení rastrovací nebo český název řádkovací elektronový mikroskop, který naznačuje, že při práci mikroskopu se primární svazek pohybuje po určité ploše preparátu. [45]

Elektronové mikroskopy patří mezi nejvšestrannější přístroje pro pohled do mikrosvěta. Využívají se v mnoha oblastech jako např. v materiálovém výzkumu nebo v biologických aplikacích. Mohou poskytnout komplexní informaci o mikrostruktuře, chemickém složení a o mnoha dalších vlastnostech zkoumaného vzorku. Rastrovací elektronové mikroskopy se využívají pro zobrazení a analýzu povrchů téměř libovolně velkých vzorků (je-li dostatečně velká vakuová komora pro jejich umístění). Transmisní elektronové mikroskopy nacházejí využití při pozorování a analýze vnitřní struktury vzorku a pro zobrazení jednotlivých atomů. Nutnou podmínkou pro použití TEM je, že vzorek musí být dostatečně tenký (10-500 nm) aby jím svazek elektronů prošel. Zjednodušeně lze říci, že TEM vidí více než SEM, ale na úkor složitější přípravy vzorků a obtížnější interpretace získaných snímků. [44]



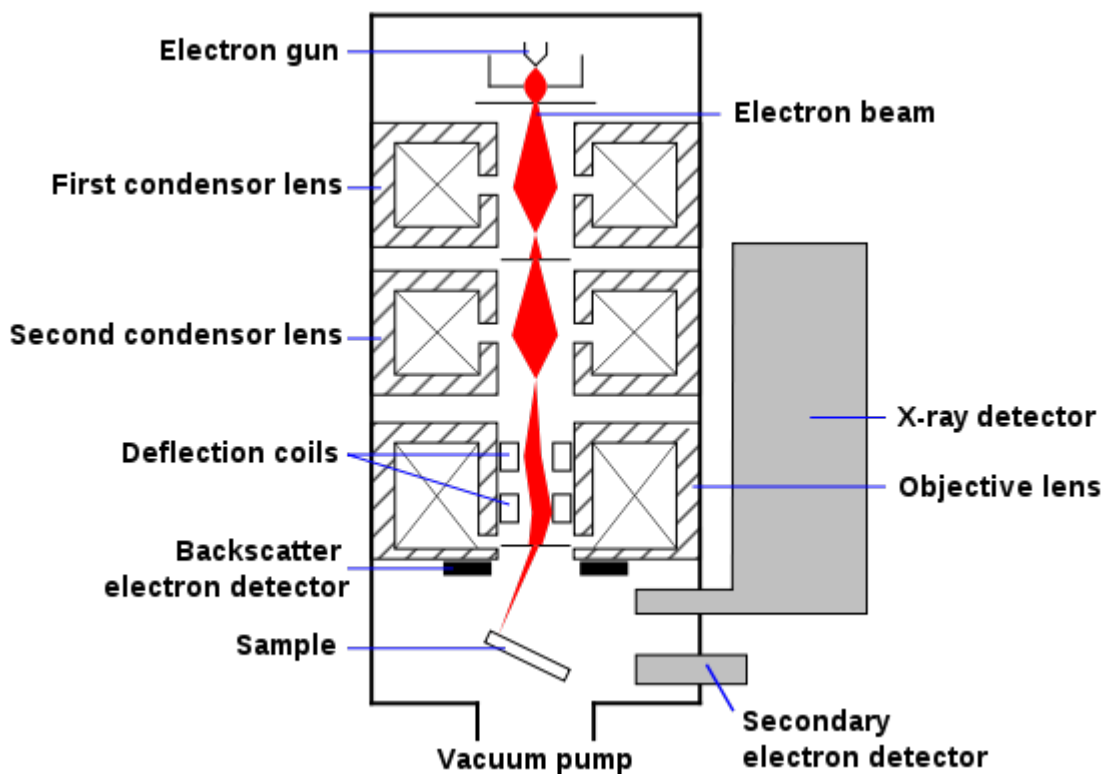
Obr. 8 Schéma principu TEM a SEM

### 3.1 Skenovací elektronový mikroskop

Skenovací elektronový mikroskop (SEM – scanning electron microscope) je druh elektronového mikroskopu, který vzorek skenuje vysoko-energetickými paprsky elektronů. [46]

Velkou předností SEM v porovnání se světelným mikroskopem je jeho velká hloubka ostrosti, v důsledku které lze z dvojrozměrných fotografií ze SEM nalézt jistý trojrozměrný aspekt. Další předností těchto mikroskopů je, že v komoře preparátů vzniká při interakci urychlených elektronů s hmotou vzorku kromě výše zmíněných signálů ještě řada dalších, např. rtg. záření, Augerovy elektrony, katodoluminiscence, které nesou mnoho dalších informací o vzorku. Při jejich detekci je možné určit např. prvkové složení preparátu v dané oblasti a při porovnání s vhodným standardem určit i kvantitativní zastoupení jednotlivých prvků. V literatuře se kromě názvu skenovací používá i označení rastrovací nebo český název řádkovací elektronový mikroskop, který naznačuje, že při práci mikroskopu se primární svazek pohybuje po určité ploše preparátu. [45]

Rastrovací elektronového mikroskopu (SEM) používá zaměřený paprsek elektronů a tvoří řadu signálů na povrchu pevných vzorků. Signály, které vyplývají z elektron-vzorku, odhalují informaci o vzorku včetně textury, chemické složení, krystalické struktury a orientaci materiálů, které tvoří vzorek. [47]



Obr. 9 Skenovací elektronový mikroskop

U skenovacího elektronového mikroskopu je vysoké rozlišení snímků u povrchu vzorku, které odhalují podrobnosti ve velikosti méně než 1 až 5 nm. Vzhledem k velmi úzkým svazkům elektronů, SEM mikrofotografie mají velkou hloubku ostrosti a dávají charakteristický 3D vzhled, což je užitečné pro pochopení struktury povrchu vzorku. [46] Zpětně rozptýlené elektrony (BSE) jsou paprsky elektronů, které se odráží od vzorku pružného rozptylu. BSE se často používá v analytické SEM a spolu se spektry vytváří charakteristické X-záření. Protože intenzita signálu BSE silně souvisí s atomovými čísly (Z) vzorku, mohou BSE obrázky poskytnout informace o rozložení jednotlivých prvků ve

vzorku. Ze stejného důvodu BSE dokáže poskytnout zobrazování obrazu koloidních zlato imuno-štítků průměrně o velikostech 5 nebo 10 nm. Charakteristické X-paprsky jsou emitovány, když elektronový paprsek odstraní vnitřní plášť elektronu ze vzorku, což způsobuje vysokou energii elektronu k vyplnění obalu a uvolňování energie. Tyto charakteristické X-záření se používá k identifikaci a měření složení množství prvků ve vzorku. [46]

### 3.1.1 Historie

První mikroskop na principu elektronové mikroskopie byl vyvinut v Německu v roce 1931 a zasloužili se o to především **Max Knoll** a **Ernst Ruska**. Byl to tzv. prozařovací elektronový mikroskop (TEM – Transmission Electron Microscope), kdy elektronové paprsky procházely zkoumaným předmětem (urychlovací napětí až 20 kV) a vytvořily stínový obraz (jako např. při promítání diapozitivu). Druhý typ elektronového mikroskopu, tzv. skenovací (SEM – Scanning Electron Microscope), se objevil v roce 1942, komerčně však byl požíván až kolem roku 1965, kdy se podařilo zvládnout skenování (postupné bombardování elektrony) vzorku (podobně jako např. při skenování fotografií). U tohoto typu mikroskopu je nutné urychlovací napětí pro elektrony 60 až 80 kV a jejich zvětšení je 30 000 násobné a s kombinací s mikroskopem optickým až 100 000 násobné. [48]



Obr. 10 Max Knoll (1897-1969)

První SEM snímek byl získán německým elektrotechnikem Maxem Knollem, který v roce 1935 získal snímek z křemíkové oceli. [49] Další průkopnická práce na fyzikálních principech SEM a interakce paprsku vzorku byla provedena Manfredem von Ardennem v roce 1937. Skenovací elektronový mikroskop byl poprvé uveden na trh v roce 1965 společností Cambridge Scientific jako "Stereoscan". První přístroj byl dodán DuPont. [46]

### 3.1.2 Příprava vzorků

V rastrovacím elektronovém mikroskopu jsou vzorky pozorovány ve vysokém vakuu. V důsledku toho musí být každý vzorek pečlivě připraven. [50]

Příprava vzorku je individuální a závisí na povaze vzorků a požadovaných údajích. Důležité je, aby se při přípravě vzorků do SEM zabránilo zvýšení náboje na elektricky izolační vzorky. Většina elektricky izolačních vzorků je potažena tenkou vrstvou vodivého materiálu, ve většině případů se jedná o uhlík, zlato, nebo nějaký jiný kov nebo slitinu. Volba materiálu pro vodivé povlaky však závisí na získaných údajích.[47]

Preparát vhodný pro prohlížení v mikroskopu musí totiž splňovat následující kritéria:

- ✚ na jeho povrchu by se neměly vyskytovat cizorodé částice, např. prach
- ✚ měl by být stabilní ve vakuu- stabilitu by měl vykazovat i při ozáření elektronovým paprskem
- ✚ měl by produkovat dostatečné množství požadovaného signálu, např. sekundárních elektronů
- ✚ při expozici primárním elektronům by nemělo docházet k jeho nabíjení

Některé biologické objekty tyto předpoklady bez problémů splňují, jako např. různé mineralizované struktury, zuby, kosti, schránky rozsivek, ale i rostlinný materiál typu dřevo, pylová zrna apod. Ve většině případů však biologické vzorky obsahují vodu, která z nich musí být před prohlížením odstraněna, což znamená jejich úpravu. Přípravě preparátů pro SEM musí být věnována náležitá pozornost, neboť často bývá zdrojem artefaktů. [45]

Příprava vzorku pro SEM obecně zahrnuje tyto kroky: [51]

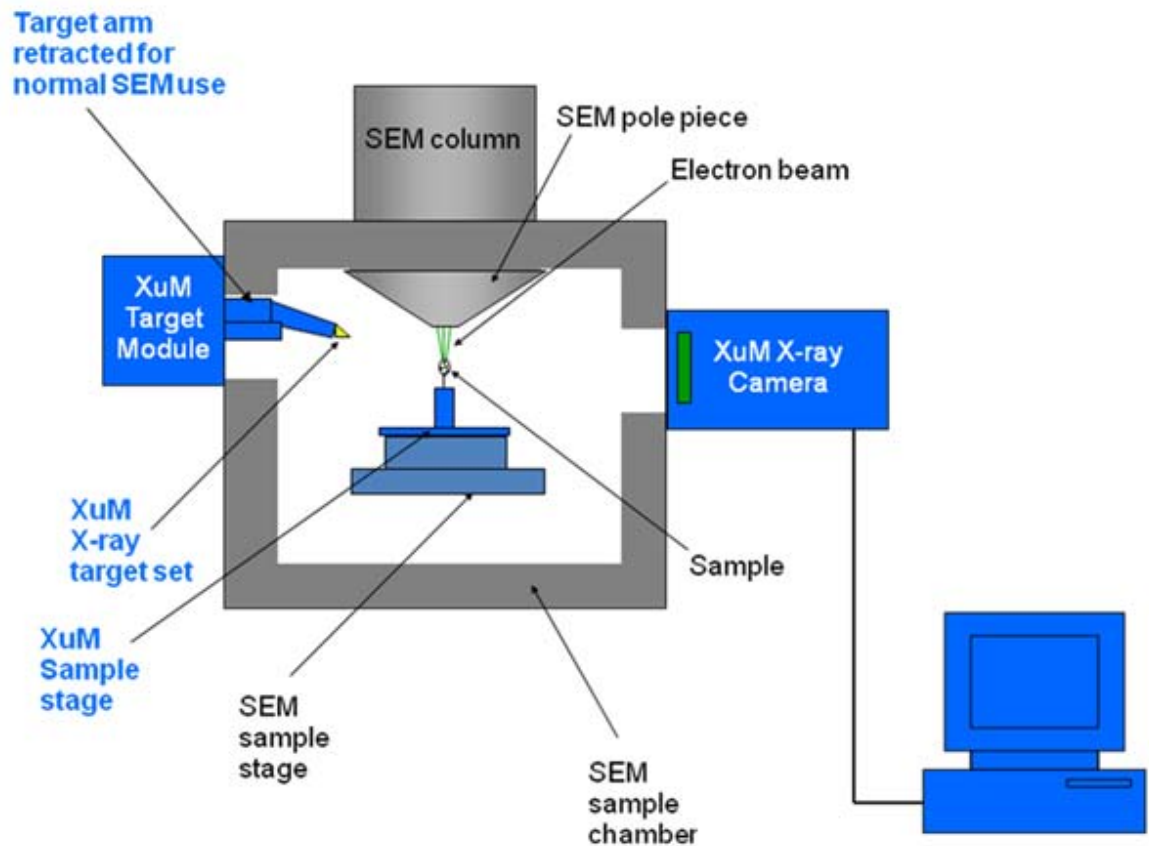
- ✚ Odběr vzorku – a odstranění povrchových nečistot
- ✚ Fixace vzorku – kvalitní fixace je základním předpokladem úspěchu. Během tohoto kroku se zastaví degradační posmrtné změny preparátu a zpevní se jeho povrch
- ✚ Dehydratace preparátu – volná voda v preparátu se postupně nahradí vhodným organickým rozpouštědlem
- ✚ Sušení – vzorek se vysuší, tzn. zbaví se organického rozpouštědla, které dosud nahrazovalo vodu
- ✚ Lepení vysušených preparátů – představuje jejich připevnění na nosné terčíky, na kterých se preparáty přenáší do komory mikroskopu
- ✚ Zvýšení povrchové vodivosti – nejčastěji pokovením preparátu.

### 3.1.3 Zpracování obrazu

Získání obrazu ve skenovacím elektronovém mikroskopu je založeno na interakci primárního svazku s povrchem prohlíženého objektu. [45]

Principem vzniku obrazu je detekce signálu, které z povrchu preparátu uvolní dopadající svazek primárních elektronů. Povrchovou morfologií nejlépe zachytí sekundární elektrony, které také poskytují největší rozlišení díky skutečnosti, že oblast ze které jsou eliminovány odpovídá velikosti stop svazku elektronů. K detekci sekundárních a zpětně odražených elektronů je mikroskop obvykle vybaven scintilačními nebo polovodičovými detektory umístěné v preparátové komoře. [51]

Mnohonásobně zvětšený obraz skenované oblasti pozorujeme na monitoru mikroskopu. Díky obrazové paměti, kde se obraz ukládá tak jak je tvořen řádek po řádku. Můžeme hledat vhodný detail na povrchu vzorku, ostřit, měnit intenzitu nebo sledovat vliv nastavení jednotlivých parametrů na kvalitu výsledného obrazu.[51]



Obr. 11 Schéma skenovací elektronové mikroskopie

### 3.1.4 Rozlišení a 3D

Prostorové rozlišení SEM závisí na velikosti elektronu, na vlnové délce elektronů a elektron-optického systému, který produkuje snímací paprsek. Rozlišení je omezeno velikostí interakce svazku a záleží do jaké míry materiál interaguje s elektronovým svazkem. Velikost a objem se vzájemně ovlivňují. V závislosti na typu přístroje, paprsek může spadat někde mezi 1 nm a 20 nm. Nejvyšší SEM rozlišením při vysokých energiích paprsku (0,4 nm při 30 kV) se získalo s přístrojem Hitachi S-5500. Při nízkých energiích paprsku má nejlepší rozlišení systém Magellan od FEI Company (0,9 nm při 1 kV). [46]

Výsledné snímky ze SEM jsou primárně pouze ve stupni šedi a jsou digitálně zaznamenávány. Pro dosažení atraktivnějšího vzhledu je možné je dále počítačově dobarvit. [51]

Snímky pomocí SEM mají vysoké trojrozměrné rozlišení. Čas pořízení snímku je vždy uložen a riziko vzniku artefaktů jsou minimální. Výklad obrázků je jednoduché a spolehlivé. [50]

### 3D v SEM

3D data mohou být měřeny v SEM různými metodami, jako je:

- ✚ Fotogrammetrie (2 nebo 3 snímky z nakloněné vzorku)
- ✚ Fotometrické stereo (použití 4 obrázků z BSE detektoru)
- ✚ Inverzní rekonstrukce pomocí elektron-materiál interaktivní modely



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce bylo vyhodnocení a ověření vzájemných vztahů mezi velikostí škrobových granulí a technologickou kvalitou zrna.

Dílčí cíle práce:

- ✚ Literární přehled
- ✚ Seznámení s metodikou
- ✚ Účast na měření
- ✚ Vyhodnocení výsledků
- ✚ Konfrontace s literaturou
- ✚ Vypracování diplomové práce

## 5 MATERIÁL A METODIKA

Technologická kvalita zrna byla stanovena v laboratoři v oddělení kvality zrna společnosti Agrotest fyto s.r.o. Byla stanovena objemová hmotnost, obsah dusíkatých látek, sedimentační index, číslo poklesu, obsah mokrého lepku a gluten index.

Kvalita zrna pekárenské pšenice je souhrnem fyzikálních a chemických vlastností zrna. Parametry, které jsou požadovány u suroviny určené k pekárenskému zpracování, upravují normy, případně Nařízení komise (ES) č. 854/2000. [9]

Norma ČSN 461100-2:2001 stanovuje požadavky na zrno pšenice jako zemědělského výrobku určeného k mlýnskému zpracování. Za pšenicí potravinářskou se považují zralé obilky pšenice obecné odrůd, které jsou registrovány podle jejich odpovídající pekárenské kvality. [9]

### 5.1 Materiál

Práce byla prováděna na 21 odrůdách (Ludwig, Meritto, Etela, Rapsodia, Hedvika, Akteur, Biscay, Sakura, Dromos, Barryton, Manager, Bohemia, Baletka, Orlando, Sultan, Federer, Brilliant, Seladon, Nikol, Secese, Bagon) potravinářské pšenice rozdílné pekárenské kvality. Odrůdy byly pěstované ve společnosti Agrotest fyto s.r.o. a sklizeny v roce 2009.

#### 5.1.1 Rozdělení odrůd podle pekárenské kvality

Pšeničné odrůdy, které byly použity pro měření, jsou členěny podle následujících jakostí na skupiny: [52] [9]

- ✚ Skupina E – elitní pšenice, označována za velmi dobrou a zlepšující.
- ✚ Skupina A – kvalitní pšenice, označována za dobrou a samostatně zpracovatelnou.
- ✚ Skupina B – chlebová pšenice, označována za doplňkovou a zpracovatelnou ve směsi.
- ✚ Skupina C – pečivářská pšenice, odrůdy nevhodné pro výrobu kynutých těst.

Tab. 2 Pekárenská kvalita jednotlivých odrůd pšenice

Odrůdy	Pekárenská kvalita
Ludwig	E
Meritto	B
Etela	C
Rapsodia	C
Hedvika	B
Akteur	E
Biscay	C
Sakura	C
Dromos	C
Barryton	A
Manager	A
Bohemia	A
Baletka	B
Orlando	B
Sultan	A
Federer	E
Brilliant	A
Seladon	B
Nikol	B
Secese	B
Bagon	C

## 5.2 Metodika práce

U vzorků se známou technologickou kvalitou byl proveden snímek mikrostruktury pomocí elektronové mikroskopie. Ve škrobovém zrně je obsaženo zhruba 12 % bílkovin a jsou známy tím, že ovlivňují pekárenskou kvalitu. Proto se lze tedy domnívat, že by mohl existovat vztah nejen mezi naměřenými vzorky, ale také by mohla být ovlivněna pekárenská jakost, vlivem uspořádání bílkovin.

### 5.3 Metodika elektronové mikroskopie

Pro zobrazení mikrostruktury endospermu zrna byla použita elektronová mikroskopie, která je jednou s nejčastěji používaných technik zkoumání hmoty. Vysokého prostorového rozlišení bylo dosaženo pomocí studeného autoemisního zdroje elektronů v rastrovacím elektronovém mikroskopu JEOL JSM 6700F. Mikroskop umožňuje získat komplexní informaci o preparátu pomocí čtyř různých detektorů. Sekundární elektrony informující o topografii povrchu jsou zachycovány dvěma vzájemně se doplňujícími detektory. Zpětně odražené elektrony jsou rovněž detekovány dvěma různými detektory s možností zachytit veškerou emisi tohoto signálu včetně elektronů odražených pod velkými úhly, které jsou v konvenčních přístrojích opomíjeny.

Mikroskop je vybaven energiově disperzním analyzátozem rtg záření Oxford INCA Energy 350 pro chemickou mikroanalýzu.

Zrno bylo příčně zlomeno a lom byl před pozorováním zvodivěn naprášením cca 10nm silné vrstvy zlata a poté pozorovány při energii 5kV detektory sekundárních elektronů.

### 5.4 Laboratorní postupy

Na zrnu byla provedena skenovací elektronová mikroskopie pod vedením Ing. Filipa Miky, PhD. z Ústavu přístrojové techniky Akademie věd v ČR. U jednotlivých odrůd se provedlo skenování pod zvětšením 300× a 2000×.

Na základě těchto vyhodnocení byly u vzorků se zvětšením 2000× změřeny rozměry velikosti malých a velkých škrobových granulí. U malých škrobových granulí byla měřena pouze šířka zrn a u velkých škrobových granulí byla naměřena šířka a výška zrn.

Dále byly výsledky zanalyzovány speciálním vyhodnocovacím programem.

### 5.5 Statistická analýza dat

Z hodnot parametrů jednotlivých rozměrů odrůd byl vytvořen soubor dat, který byl statisticky testován.

Analýzou variance byla na hladině významnosti  $\alpha = 0,01$  hodnocena statistická průkaznost v rozdílech velikosti škrobových granulí. Hodnocena byla také korelace jednotlivých parametrů technologické kvality s velikostí škrobových zrn.

Statistická analýza dat byla provedena programem Statistica 9 od společnosti StatSoft ČR s.r.o.

## 6 VÝSLEDKY

U malých škrobových granulí byla zjištěna statisticky průkazná vazba mezi jejich velikostí a obsahem mokrého lepku a farinografickými parametry - vývin, stabilita a stupeň změknutí. Obsah lepku v sušině, vývin a stabilita korelují s velikostí malých škrobových granulí kladně a stupeň změknutí záporně.

U velkých škrobových granulí existuje statisticky průkazná vazba mezi velikostí velkých škrobových granulí a číslem poklesu. Ostatní parametry z hlediska pekárenské kvality byly neprůkazné a negativní.

### 6.1 Parametry u malých škrobových granulí

Pro vyhodnocení bylo použito 20 pšeničných odrůd. Odrůda Brilliant s pekárenskou jakostí A nebyla hodnocena z důvodu špatné viditelnosti škrobových granulí na fotografii.

Tab. 3 Jednosměrný test významnosti pro šířku malých škrobových granulí

Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro ŠÍŘKA (mm) (odrůdy) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	33718,81	1	33718,81	1301,807	0,000000
ODRŮDA	1939,64	19	102,09	3,941	0,000000
Chyba	6060,96	234	25,90		

Z tabulky 3 je zřejmé, že mezi jednotlivými odrůdami existuje statisticky vysoce průkazný rozdíl ve velikosti šířky malých škrobových granulí.

Tab. 4 Korelace rozměrů malých škrobových granulí s parametry technologické kvality

Proměnná	Korelace (odrudy) Označ. korelace jsou významné N=248 (Celé případy vynechány)	
	ŠÍŘKA (mm)	
OH [s]	0,08	
FN [%]	0,09	
SEDI [ml]	0,15	
GI	0,14	
lepek v suš.	-0,01	
NL [%]	0,13	
Vaznost 500 FU [%]	0,05	
Vaznost 14 % [%]	0,06	
Vývin [min]	0,23	
Stabilita [min]	0,14	
Stup.změk.(po 10 min.) [FU]	-0,04	
Stup.změk.(12 min po max.) [FU]	-0,06	
Far. číslo kvality	0,16	

Z tabulky 4 je patrné, že u malých škrobových granulí existuje závislost mezi šířkou a sedimentační hodnotou, gluten indexem, obsahem dusíkatých látek a fenografickými parametry. Nebyla prokázána vzájemná souvislost mezi malými škrobovými granulemi a stupněm změknutí.

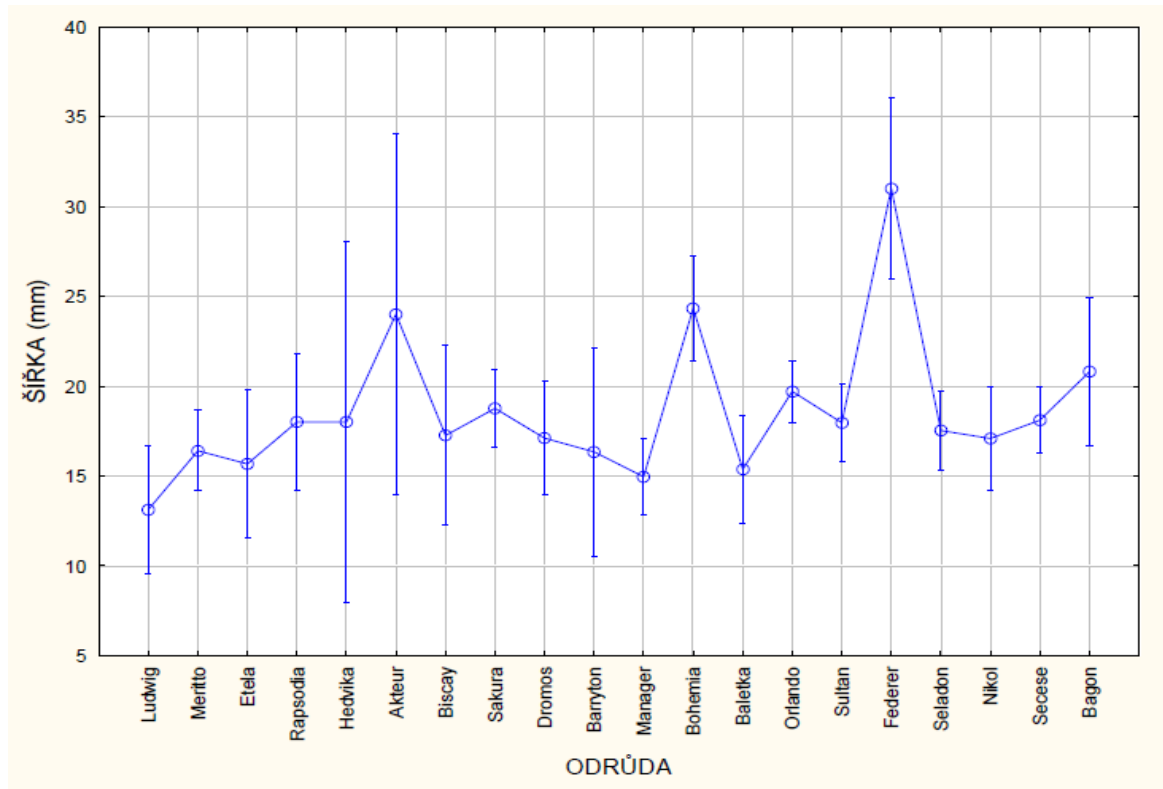


Tab. 5 Vzájemné rozdíly odrůd pro malé škrobové granule

LSD test: proměnná ŠÍŘKA (mm) (odrůdy) Pravděpodobnosti pro post-hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 26,030, sv = 233,00																					
Č. buňky	ODRŮDA	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}	{13}	{14}	{15}	{16}	{17}	{18}	{19}	{20}
1	Etela	15,667	18,000	18,000	18,103	16,800	14,955	16,333	17,524	24,333	17,083	16,400	17,955	19,706	18,762	17,100	15,364	31,000	13,125	24,000	20,800
2	Rapsodia	0,429087		1,000000	0,288012	0,714067	0,762117	0,853552	0,432467	0,000800	0,579194	0,757755	0,331240	0,075091	0,191294	0,586939	0,906937	0,000005	0,357254	0,131840	0,097938
3	Hedvika	0,672384	1,000000		0,984112	0,830181	0,559922	0,777500	0,927421	0,234219	0,863100	0,759842	0,993055	0,742039	0,884125	0,866577	0,621253	0,023571	0,368589	0,406503	0,616851
4	Secese	0,288012	0,963979	0,984112		0,598283	0,030037	0,567827	0,692099	0,000454	0,560781	0,251857	0,917872	0,215286	0,652830	0,592249	0,130743	0,000004	0,015292	0,256992	0,276189
5	Biscay	0,714067	0,698056	0,830181	0,598283		0,466065	0,900435	0,775822	0,005987	0,916997	0,875537	0,648269	0,235596	0,440444	0,914600	0,602185	0,000047	0,207670	0,198933	0,216359
6	Manager	0,762117	0,196240	0,559922	0,030037	0,466065		0,660997	0,100155	0,000001	0,246152	0,360092	0,052351	0,000783	0,015182	0,271339	0,828292	0,000000	0,385980	0,084247	0,021619
7	Barryton	0,853552	0,644525	0,777500	0,567827	0,900435	0,660997		0,705739	0,015891	0,820052	0,983180	0,606133	0,273539	0,441358	0,819633	0,770696	0,000212	0,353922	0,194419	0,231824
8	Seladon	0,432467	0,840385	0,927421	0,692099	0,775822	0,100155	0,705739		0,000281	0,811644	0,481516	0,782231	0,124677	0,432467	0,829019	0,256465	0,000002	0,039069	0,216161	0,198175
9	Bohemia	0,000800	0,013744	0,234219	0,000454	0,005987	0,000001	0,015891	0,000281		0,000597	0,000030	0,000590	0,007417	0,002830	0,001077	0,000036	0,024542	0,000003	0,950003	0,194522
10	Nikol	0,579194	0,719667	0,863100	0,560781	0,916997	0,246152	0,820052	0,811644	0,000597		0,714104	0,634644	0,127159	0,364200	0,993919	0,420208	0,000004	0,090505	0,194031	0,172452
11	Meritto	0,757755	0,501150	0,759842	0,251857	0,875537	0,360092	0,983180	0,481516	0,000030	0,714104		0,325055	0,022370	0,139774	0,723469	0,589932	0,000000	0,126274	0,147369	0,085885
12	Sultan	0,331240	0,984583	0,993055	0,917872	0,648269	0,052351	0,606133	0,782231	0,000590	0,634644	0,325055		0,210898	0,604463	0,660945	0,170391	0,000004	0,022752	0,247691	0,261444
13	Orlando	0,075091	0,450960	0,742039	0,215286	0,235596	0,000783	0,273539	0,124677	0,007417	0,127159	0,022370	0,210898		0,505661	0,157000	0,014876	0,000040	0,001187	0,407643	0,654762
14	Sakura	0,191294	0,747286	0,884125	0,652830	0,440444	0,015182	0,441358	0,432467	0,002830	0,364200	0,139774	0,604463	0,505661		0,397415	0,074820	0,000017	0,008375	0,316865	0,422922
15	Dromos	0,586939	0,732958	0,866577	0,592249	0,914600	0,271339	0,819633	0,829019	0,001077	0,993919	0,723469	0,660945	0,157000	0,397415		0,436821	0,000007	0,101833	0,198508	0,186785
16	Baletka	0,906937	0,309659	0,621253	0,130743	0,602185	0,828292	0,770696	0,256465	0,000036	0,420208	0,589932	0,170391	0,014876	0,074820	0,436821		0,000000	0,345994	0,106438	0,049384
17	Federer	0,000005	0,000105	0,023571	0,000004	0,000047	0,000000	0,000212	0,000002	0,024542	0,000004	0,000000	0,000004	0,000040	0,000017	0,000007	0,000000		0,000000	0,220997	0,003185
18	Ludwig	0,357254	0,078157	0,368589	0,015292	0,207670	0,385980	0,353922	0,039069	0,000003	0,090505	0,126274	0,022752	0,001187	0,008375	0,101833	0,345994	0,000000		0,045624	0,008882
19	Akteur	0,131840	0,277376	0,406503	0,256992	0,198933	0,084247	0,194419	0,216161	0,950003	0,194031	0,147369	0,247691	0,407643	0,316865	0,198509	0,106438	0,220997	0,045624		0,567494
20	Bagon	0,097938	0,365700	0,616851	0,276189	0,216359	0,021619	0,231824	0,198175	0,194522	0,172452	0,085885	0,261444	0,654762	0,422922	0,186785	0,049384	0,003185	0,008882	0,567494	

V tabulce 6 jsou průkazné rozdíly ve velikosti malých škrobových granulí mezi odrůdami; je zřejmé, že odrůda Etela, Rapsodia, Biscay, Barryton, Nikol a Dromos vzájemně korelují pouze s odrůdami Bohemia a Federer. Odrůdy Hedvika a Akteur korelují jen s odrůdou Federer. Odrůdy Secese a Sakura korelují s odrůdami Manager, Bohemia, Federer a Ludwig. Odrůda Manager koreluje s odrůdami Secese, Bohemia, Orlando, Skaura, Federer a Bagon. Odrůdy Seladon a Sultan korelují rovněž s odrůdou Bohemia a Federer, navíc s odrůdou Ludwig. Odrůda Bohemia koreluje se všemi uvedenými odrůdami, kromě odrůd Hedvika, Akteur a Bagon. Odrůda Meritto koreluje opět s odrůdami Bohemia a Federer, navíc s odrůdou Orlando. Odrůda Orlando koreluje s odrůdami Manager, Bohemia, Meritto, Federer, Baletka a Ludwig. Odrůda Baletka koreluje s odrůdami Bohemi, Orlando, Federer a Bagon. Odrůda Federer koreluje se všemi uvedenými odrůdami, kromě odrůdy Akteur. Odrůda Ludwig koreluje pouze s odrůdami Secese, Seladon, Bohemia, Federer, Akteur, Bagon, Sultan, Orlando a Sakura. Odrůda Akteur koreluje pouze s odrůdou Ludwig. Odrůda Bagon koreluje pouze s těmito odrůdami Manager, Baletka, Federer a Ludwig.

Graf. 1 Meziodrůdové srovnání šířky malých škrobových granulí



Z grafu 1 je rovněž patrné, že odrůdy Federer, Bohemia a Akteur byly vyhodnoceny jako odrůdy s největšími malými škrobovými granulemi.

## 6.2 Parametry u velkých škrobových granulí

Pro vyhodnocení bylo použito 17 pšeničných odrůd. Odrůdy Brilliant, Barryton, Orlando a Sakura nebyly hodnoceny z důvodu špatné viditelnosti škrobových granulí a neměřitelnosti na fotografii.

Tab. 6 Korelace odrůd pro délku a šířku velkých škrobových granulí

Proměnná	Korelace (odrůdy)			
	Průměry	Sm.odch.	DÉLKA (mm)	ŠÍŘKA (mm)
DÉLKA (mm)	69,38000	22,05271	1,000000	0,801316
ŠÍŘKA (mm)	51,60000	16,44161	0,801316	1,000000

Z tabulky č. 6 je patrné, že existuje vzájemná korelace mezi délkou a šířkou odrůd u velkých škrobových granulí. Současně bylo prokázáno, že existuje statisticky vysoce průkazná závislost mezi odrůdami a velikostmi velkých škrobových granulí.

Tab. 7 Korelace rozměrů velkých škrobových granulí s parametry technologické kvality

Proměnná	Korelace (odrudy)	
	DÉLKA (mm)	ŠÍŘKA (mm)
O.H. [kg/hl]	0,20	0,22
FN [%]	0,40	0,39
SEDI [%]	-0,13	0,02
GI	0,28	0,27
lepek v suš.	-0,17	-0,02
NL [%]	-0,12	0,10
Vaznost 500 FU [%]	0,04	0,04
Vaznost 14 % [%]	0,09	0,08
Vývin [min]	-0,31	-0,15
Stabilita [min]	-0,25	-0,19
Stup.změk.(po 10 min.) [FU]	0,03	-0,09
Stup.změk.(12 min po max.) [FU]	0,00	-0,15
Far. číslo kvality	-0,26	-0,22

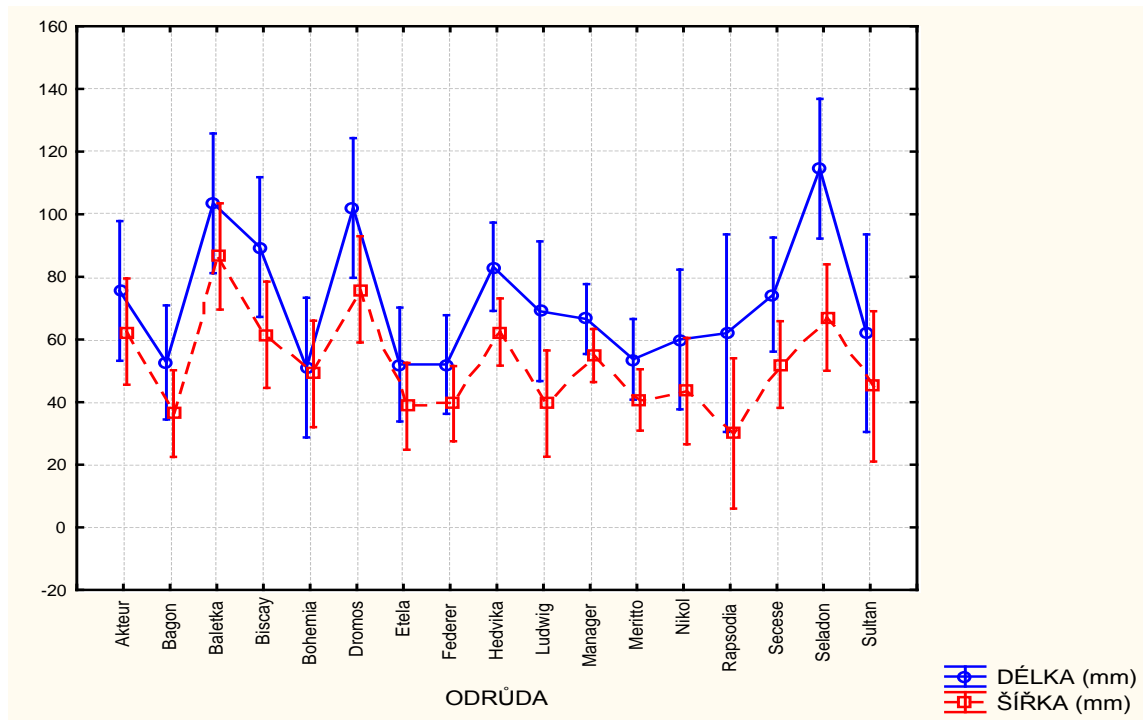
Z tabulky 7 je patrné, že u velkých škrobových granulí v závislosti na jejich šířce a délce vzájemně koreluje pouze číslo poklesu. Lze se tedy domnívat, že velká škrobová granula nemají vliv na technologickou kvalitu pšeničného zrna.

Tab. 8 Vzájemné rozdíly odrůd pro velké škrobové granule

		LSD test: proměnná DÉLKA (mm) (odrůdy)																
		Pravděpodobnosti pro post-hoc testy																
		Chyba: meziskup. PČ = 240,23, sv = 33,000																
Č. buňky	ODRŮDA	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}	{13}	{14}	{15}	{16}	{17}
		75,500	52,667	103,50	89,500	51,000	102,00	52,000	52,000	83,200	69,000	66,500	53,667	60,000	62,000	74,333	114,50	62,000
1	Akteur		0,116094	0,079961	0,372929	0,123480	0,096699	0,106203	0,089279	0,556703	0,677659	0,467831	0,093835	0,324564	0,481971	0,934781	<b>0,016904</b>	0,481971
2	Bagon	0,116094		<b>0,001051</b>	<b>0,013729</b>	0,906944	<b>0,001405</b>	0,958305	0,955429	<b>0,010919</b>	0,256629	0,196469	0,927850	0,607706	0,605499	0,096263	<b>0,000116</b>	0,605499
3	Baletka	0,079961	<b>0,001051</b>		0,372929	<b>0,001840</b>	0,923487	<b>0,000923</b>	<b>0,000533</b>	0,127020	<b>0,032964</b>	<b>0,004856</b>	<b>0,000401</b>	<b>0,008337</b>	<b>0,035998</b>	<b>0,047212</b>	0,482867	<b>0,035998</b>
4	Biscay	0,372929	<b>0,013729</b>	0,372929		<b>0,018243</b>	0,425734	<b>0,012250</b>	<b>0,008608</b>	0,630301	0,195047	0,069375	<b>0,007833</b>	0,065752	0,156859	0,291524	0,116272	0,156859
5	Bohemia	0,123480	0,906944	<b>0,001840</b>	<b>0,018243</b>		<b>0,002386</b>	0,944081	0,941062	<b>0,018281</b>	0,253832	0,214741	0,834402	0,565405	0,566202	0,108608	<b>0,000255</b>	0,566202
6	Dromos	0,096699	<b>0,001405</b>	0,923487	0,425734	<b>0,002386</b>		<b>0,001236</b>	<b>0,000729</b>	0,156561	<b>0,040794</b>	<b>0,006639</b>	<b>0,000560</b>	<b>0,010594</b>	<b>0,042784</b>	0,059047	0,425734	<b>0,042784</b>
7	Etela	0,106203	0,958305	<b>0,000923</b>	<b>0,012250</b>	0,944081	<b>0,001236</b>		1,000000	<b>0,009444</b>	0,238104	0,176296	0,880055	0,575613	0,580102	0,086856	<b>0,000101</b>	0,580102
8	Federer	0,089279	0,955429	<b>0,000533</b>	<b>0,008608</b>	0,941062	<b>0,000729</b>	1,000000		<b>0,005097</b>	0,214198	0,136113	0,868711	0,555239	0,567803	0,068036	<b>0,000051</b>	0,567803
9	Hedvika	0,556703	<b>0,010919</b>	0,127020	0,630301	<b>0,018281</b>	0,156561	<b>0,009444</b>	<b>0,005097</b>		0,281428	0,067567	<b>0,003489</b>	0,082786	0,220585	0,439013	<b>0,021502</b>	0,220585
10	Ludwig	0,677659	0,256629	<b>0,032964</b>	0,195047	0,253832	<b>0,040794</b>	0,238104	0,214198	0,281428		0,839585	0,234257	0,565405	0,714663	0,708627	<b>0,006021</b>	0,714663
11	Manager	0,467831	0,196469	<b>0,004856</b>	0,069375	0,214741	<b>0,006639</b>	0,176296	0,136113	0,067567	0,839585		0,134770	0,599336	0,785996	0,460635	<b>0,000425</b>	0,785996
12	Meritto	0,093835	0,927850	<b>0,000401</b>	<b>0,007833</b>	0,834402	<b>0,000560</b>	0,880055	0,868711	<b>0,003489</b>	0,234257	0,134770		0,620074	0,621942	0,068163	<b>0,000033</b>	0,621942
13	Nikol	0,324564	0,607706	<b>0,008337</b>	0,065752	0,565405	<b>0,010594</b>	0,575613	0,555239	0,082786	0,565405	0,599336	0,620074		0,916728	0,318410	<b>0,001296</b>	0,916728
14	Rapsodia	0,481971	0,605499	<b>0,035998</b>	0,156859	0,566202	<b>0,042784</b>	0,580102	0,567803	0,220585	0,714663	0,785996	0,621942	0,916728		0,495559	<b>0,009230</b>	1,000000
15	Secese	0,934781	0,096263	<b>0,047212</b>	0,291524	0,108608	0,059047	0,086856	0,068036	0,439013	0,708627	0,460635	0,068163	0,318410	0,495559		<b>0,007690</b>	0,495559
16	Seladon	<b>0,016904</b>	<b>0,000116</b>	0,482867	0,116272	<b>0,000255</b>	0,425734	<b>0,000101</b>	<b>0,000051</b>	<b>0,021502</b>	<b>0,006021</b>	<b>0,000425</b>	<b>0,000033</b>	<b>0,001296</b>	<b>0,009230</b>	<b>0,007690</b>		<b>0,009230</b>
17	Sultan	0,481971	0,605499	<b>0,035998</b>	0,156859	0,566202	<b>0,042784</b>	0,580102	0,567803	0,220585	0,714663	0,785996	0,621942	0,916728	1,000000	0,495559	<b>0,009230</b>	

Z tabulky 8 je viditelné, že velikost velkých škrobových granulí, stejně jako u malých škrobových granulí, je rovněž průkazná. Odrůda Akteur koreluje pouze s odrůdou Seladon. Odrůdy Bagon, Etela, Federer a Meritto korelují s odrůdami Baletka, Biscay, Dromos, Hedvika a Seladon. Odrůda Baletka koreluje se všemi odrůdami, kromě odrůd Akteur, Biscay, Dromos, Hedvika a Seladon. Odrůda Biscay koreluje s odrůdami Bagon, Bohemia, Etela, Federer a Meritto. Odrůda Bohemia koreluje pouze s odrůdami Baletka, Biscay, Dromos, Hedvika a Seladon. Odrůda Dromos reaguje se všemi uvedenými odrůdami, kromě Akteur, Baletka, Biscay, Hedvika, Secese a Seladon. Odrůda Hedvika koreluje s odrůdami Bagon, Bohemia, Etela, Federer, Meritto a Seladon. Odrůdy Ludwig, Manager, Nikol, Rapsodia a Sultan korelují pouze s odrůdami Baletka, Dromos a Seladon. Odrůda Secese koreluje pouze s odrůdami Baletka a Seladon. Odrůda Seladon koreluje se všemi uvedenými odrůdami, kromě odrůd Baletka, Biscay a Dromos.

Graf. 2 Meziodrůdové srovnání šířky velkých škrobových granulí



Z grafu 2 je zřejmé, že odrůdy Seladon, Dromos a Baletka byly vyhodnoceny jako odrůdy s největšími velkými škrobovými granulemi. Nejmenší velké škrobové granule jsou viditelné u odrůd Bohemia a Manager. Z grafu je patrná přímá úměra velkých škrobových granulí – čím jsou zrna delší, tím jsou také širší; čímž se potvrdila závislost mezi těmito rozměry.

## 7 DISKUSE

Výsledky potvrdily, že existuje těsnější vazba mezi technologickou kvalitou a rozměry malých škrobových granulí než u velkých škrobových granulí.

### 7.1 Číslo poklesu

Na základě dosažených výsledků je třeba konstatovat, že průkazná korelace byla zjištěna pouze u velkých škrobových granulí, kdy byla prokázána korelace nejen u délky, ale i u šířky. Hodnota čísla poklesu vyjadřuje vlastnosti amylaso-škrobového komplexu, zejména aktivitu amylolytických enzymů v zru. [53]

Lze tedy s jistotou říct, že výsledek byl očekávaný.

### 7.2 Sedimentační index

Je průkazná korelace SEDI s malými škrobovými granulami. Tím se potvrzuje fakt, že v malých škrobových granulích se vyskytuje zvýšené množství bílkovin, než ve velkých škrobových granulích, u kterých nebyla prokázána žádná průkazná korelace.

Hodnota sedimentačního indexu (SEDI) odráží množství i kvalitu lepkových bílkovin obsažených v zru. Ve skutečnosti je však objem sedimentu určován pouze množstvím vysokomolekulárních podjednotek gluteninů. [54]

Využitelnost mouky v závislosti na sedimentačním indexu je uvedena v tabulce 10. [55]

Tab. 9 Pekárenské vlastnosti mouky podle sedimentačního indexu

Sedimentační objem	Obsah bílkovin	Využitelnost
< 20	Nízký	Vhodné pro pečivárenství
20 - 30	Střední	Nízká pekárenská kvalita
30 - 40	Vysoký	Dobrá pekárenská kvalita
> 40	Velmi vysoký	Velmi dobrá pekárenská kvalita

### 7.3 Gluten index

Vzájemná korelace mezi velikostí malých škrobových granulí s gluten indexem je velmi nízká. U velkých škrobových granulí je korelace neprůkazná, což jsou očekávané výsledky, protože gluten index charakterizuje vlastnosti lepkových bílkovin.

Parametr gluten index může nabývat hodnoty od 0 % do 100 %. Gluten index rovný 0 % charakterizuje měkký, rozplývavý lepek. Naopak gluten index s hodnotou 100 % ukazuje na velmi pevný lepek. Zrno určené na pekárenské zpracování by mělo mít gluten index 85 – 95 %. [56]

### 7.4 Obsah dusíkatých látek

Obsah dusíkatých látek pozitivně koreluje pouze s velikostí malých škrobových granulí. Lze se domnívat, že je to dáno tím, že jsou menší škrobová granula obklopena a ponořena bílkovinou maticí.

### 7.5 Farinografické vlastnosti

#### 7.5.1 Vývin, stabilita

Výsledky hodnocení ukazují, že čím menší škrobová granula, tím je lepší doba vývinu a doba stability. Výzkum prokázal závislost mezi vývinem a stabilitou s malými škrobovými zrny. Velká škrobová zrna nekorelují s dobou vývinu a dobou stability.

Jak bylo již dříve publikováno [7], [54] přítomnost velkých škrobových granulí zpomaluje průnik vody do granulí.

#### 7.5.2 Farinografické číslo kvality

Výzkum prokázal, že malá škrobová granula více ovlivňují a zvyšují kvalitu těsta než velké škrobové granule. Korelace nebyla velká, ale byla průkazná.

Farinografické číslo kvality vyjadřuje celkovou kvalitu pomocí jednoho čísla, přičemž s jeho stoupající hodnotou obecně stoupá kvalita těsta. [57]

## ZÁVĚR

Dosažené výsledky potvrdily, že některé technologické vlastnosti korelují s velikostí škrobových granulí, ale většina je spíše dána vlastnostmi bílkovin. U takových nebyla korelace s velikostí škrobových granulí prokázána.

Odrůdy Federer, Bohemia a Akteur byly vyhodnoceny jako odrůdy s největšími malými škrobovými granulemi. Odrůdy Seladon, Dromos a Baletka byly vyhodnoceny jako odrůdy s největšími velkými škrobovými granulemi.

Větší vliv byl prokázán u malých škrobových granulí. V tomto případě s technologickými parametry korelovalo šest parametrů, zatímco u velkých škrobových granulí byla zjištěna průkazná korelace jen ve dvou případech. Byla prokázána pozitivní korelace u malých škrobových granulí v sedimentačním indexu, gluten indexu, obsahu dusíkatých látek, vývinu, stabilitě a farinografickým číslem kvality. U velkých škrobových granulí byla pozitivně průkazná korelace pouze u čísla poklesu, a to jak pro délku, tak i pro šířku.

Podle výsledků a statistického vyhodnocení lze tvrdit, že čím menší škrobová granule, tím lepší je doba vývinu a doba stability pekárenského těsta. Velké škrobové granule nemají na kvalitu výsledného pekárenského produktu žádný podíl a nijak jeho kvalitu neovlivňuje.

Hodnoty korelace mezi pekárenskými vlastnostmi a velikostmi škrobových granulí nebyly velké, byly však průkazné. Hodnoty spíše poukazují na fakt, že existuje rozdíl mezi malými a velkými škrobovými zrny.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] ZIMOLKA, J. *Speciální produkce rostlinná-rostlinná výroba*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2000. ISBN 80-7157-451-1.
- [2] Pšenice. *Wikipedie* [online]. [cited 2011-02-07]. Available from <http://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%A1enice> .
- [3] KOUBOVÁ, D. Management pěstování ozimé pšenice. *Agronavigátor* [online]. 2005 [cited 2011-02-18]. Available from <http://www.agronavigator.cz/default.asp?ids=411&ch=1&typ=1&val=> .
- [4] PETR, J., HÚSKA, J. *Rostlinná výroba I (obecná část)*. Praha: ČZU, 1997. ISBN 80-213-0152-X.
- [5] FAMĚRA, O. *Základy pěstování ozimé pšenice*. Praha: Institut výchovy a vzdělávání ministerstva zemědělství v ČR, 1993. ISBN 80-7105-045-8.
- [6] Pšenice ozimá. *Agrokom* [online]. [cited 2011-04-12]. Available from [http://www.agrokom.cz/texty/METODIKY/Radce\\_hospodare/radce\\_psenice\\_ozim\\_a\\_uvod.pdf](http://www.agrokom.cz/texty/METODIKY/Radce_hospodare/radce_psenice_ozim_a_uvod.pdf) .
- [7] MUCHOVÁ, Z. *Faktory ovplyvňujúce technologickú kvalitu pšenice a jej potravinárske využitie*. Nitra, 2008. ISBN 80-7137-923-9.
- [8] LUKEŠOVÁ, J. Obiloviny. [online]. 2002 [cited 2011-04-12]. Available from [http://www.hka.cz/\\_zivot/bazalka/obili.html](http://www.hka.cz/_zivot/bazalka/obili.html).
- [9] PAVLÍK, S.; BUREŠOVÁ, I. *Metodika pěstování ozimé pečárenské pšenice*; Agrotest fyto, s.r.o.: Kroměříž, 2009. ISBN 978-80-86888-07-1
- [10] ZIMOLKA, J. *Pšenice: pěstování, hodnocení a užití zrna*. Praha, 2005. ISBN 80-86726-09-6.
- [11] KŮST, F. Pěstování a produkce pšenice ozimé. *Agroweb* [online]. 2010 [cited 2011-03-10]. Available from [http://www.agroweb.cz/Pestovani-a-produkce-psenice-ozime\\_\\_s1302x47004.html](http://www.agroweb.cz/Pestovani-a-produkce-psenice-ozime__s1302x47004.html).
- [12] MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ ČR. Žně 2010. [online]. [cited 2011-03-15]. Available from [http://eagri.cz/public/web/file/72565/Zne\\_v\\_CR\\_k\\_6.\\_9.\\_2010.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/72565/Zne_v_CR_k_6._9._2010.pdf).

- [13] KUBALÍK, Z. Podmínky klimatické a půdní. [online]. [cited 2011-03-28]. Available from <http://www.ekodom.cz/praxe/teorie.doc>.
- [14] BEZDÍČKOVÁ, A., HŘIVNA, L. The effect of nitrogen fertilizing and fungicide application on the yield and selected parameters of grain quality of winter wheat. *Acta univ. agric. at silvic*, 2007, no. 1, p. 25–38.
- [15] BUREŠOVÁ, I., PALÍK, S. Počasí jako faktor pekárenské kvality pšeničného zrna. *Obilnářské listy* [online]. 2009 [cited 2011-03-12]. Available from <http://195.250.145.87/obilnarske-listy/pdf-ol/obil-listy-1-09.pdf>.
- [16] LIMAGRAIN CENTRAL EUROPE CEREALS, S.R.O. Agrotechnika pšenice ozimé. *Nickerson* [online]. 2010 [cited 2011-04-01]. Available from [http://www.odrudynickerson.cz/agrotechnika\\_po.html](http://www.odrudynickerson.cz/agrotechnika_po.html).
- [17] KULOVANÁ, E. Význam stanovení tvrdosti zrna pšenice pro hodnocení jakosti. *Agroweb* [online]. 2001 [cited 2011-04-10]. Available from [http://www.agroweb.cz/Vyznam-stanoveni-tvrdosti-zrna-psenice-pro-hodnoceni-jakosti\\_\\_s44x10429.html](http://www.agroweb.cz/Vyznam-stanoveni-tvrdosti-zrna-psenice-pro-hodnoceni-jakosti__s44x10429.html).
- [18] GUTSHICK, V., KAY, L. Nutrient-limited growth rates: Quantitative benefits of stress responses and some aspects of regulation. *J. Exp. Bot.* [online]. 1995 [cited 2011-04-10], p. 995–1009. Available from [http://gceconsortium.com/model\\_wiki/uploads/Main/gutschick\\_kay\\_1995\\_smaller.pdf](http://gceconsortium.com/model_wiki/uploads/Main/gutschick_kay_1995_smaller.pdf).
- [19] ŠÍP, V., ŠKORPÍK, M., CHRPOVÁ, J., ŠOTTNÍKOVÁ, V., BÁRTOVÁ, Š. Effect of cultivar and cultural practise on grain yield and bread-making quality of winter wheat. *Plant Production*, 200, no. 46, p. 159–160.
- [20] KAMAL, A., KIM, K., SHIN, D., SEO, H., SHIN, K., PARK, C., HEO, H. Diversity of Novel Glutenin Subunits in Bread wheat. *J. Plant Biol.*, 2009, no. 52, p. 533–542.
- [21] MOSS, H., WRIGLEY, C., MACRITCHIE, F., RANDALL, P. Sulfur and Nitrogen fertilizer effects on wheat: Influence on grain quality. *Aust. J. Agr. Res.*, 1981, no. 32, p. 213–227.

- [22] ZÖRB, CH., GROVER, C., STEINFURTH, D., MÜHLING, H. Quantitative proteome analysis of wheat gluten as influenced by N and S nutrition. *Plant Soil*, 2010, no. 1-2, p. 225–234.
- [23] CHLOUPEK, O., HRSTKOVÁ, P. Reakce našich plodin na vnější vlivy během posledních 80. let. *Vědecký výbor fyto-sanitárního a životního prostředí* [online]. 2003 [cited 2011-03-18]. Available from <http://www.phytosanitary.org/projekty/2003/vvf-07-03.pdf>.
- [24] ŽALUD, Z., TRNKA, M., SEMERÁDOVÁ, D., DUBROVSKÝ, M. Změna klimatu a její dopady na růst a vývoj polních plodin. *Agromagazín*. 2007, no. 8, p. 7–10.
- [25] FOLTÝN, J. *Pšenice*. 1.st ed. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1970. ISBN 07-027-70.
- [26] EVERS, T., MILLART, S. Cereal grain structure and development: Some implications for quality. *J. Cereal Sci.*, 2001, no. 36, p. 261–284.
- [27] KULP, K., PONTE, J. *Handbook of cereal science and technology*. 2.st ed. New York: Marcel Dekker. Inc., 2000, vol. 2, p. 790.
- [28] HRABĚ, J., ROP, O., HOZA, I. *Technologie výroby potravin rostlinného původu*. 1.st ed. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2006. ISBN 80-7318-372-2.
- [29] SOBOTKA, M. *Atlas obilnin československých povolených a rayonovaných odrůd*. 1.st ed. Praha: SZN, 1958.
- [30] KOPÁČOVÁ, O. *Trendy ve zpracování cereálií s přihlédnutím zejména k celozrnným výrobkům*. 1.st ed. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 2007. ISBN 978-80-7271-184-0.
- [31] TURNBULL, K. M., RAHMAN, S. Endosperm texture in wheat. *J. Cereal Sci.*, no. 36, p. 327–337.
- [32] Mouka. *Navajo* [online]. [cited 2011-04-04]. Available from <http://mouka.navajo.cz/>.
- [33] KUSTNER, P. Wheat. [online]. 2007 [cited 2011-04-05]. Available from <http://www.7habitsofweightloss.com/wheat.html>.

- [34] HRABĚ, J., ROP, O., HOZA, I. *Technologie výroby potravin rostlinného původu*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2008. ISBN 978-80-7318-372-1.
- [35] KOPÁČOVÁ, O. Mechanické a fyzikálně chemické charakteristiky endospermu pšenice durum. *Cereal Chem.* [online]. 2005 [cited 2011-04-05], p. 81–87. Available from <http://www.agronavigator.cz/default.asp?ch=13&typ=1&val=34678&ids=421>.
- [36] Endosperm. *Wikidpedia* [online]. [cited 2011-04-18]. Available from <http://en.wikipedia.org/wiki/Endosperm>.
- [37] KVASNIČKOVÁ, A. Porovnání alergenního potenciálu chleba a těstovin. *Ital. J. Food Sci.* [online]. 2004 [cited 2011-04-20], p. 151–163. Available from <http://www.agronavigator.cz/default.asp?ch=13&typ=1&val=28837&ids=420>.
- [38] VELÍŠEK, J. *Chemie potravin 1*. 1.st ed. Tábor: Osis, 1999. 352 p. ISBN 80-902391-3-7.
- [39] KENT, N., EVERS, A. *Technology of cereals*. Great Britain: Pergamon, 1994. ISBN 0 08 040833 8.
- [40] WHISTLER, R., DANIEL, J. *Molecular structure of starch*. New York: Academic Press, 1994.
- [41] SLUKOVÁ, M. Kvalitativní ukazatele pšenice a pšeničných mouk. [online]. [cited 2011-05-01]. Available from [http://www.vscht.cz/main/soucasti/fakulty/fpbt/grant\\_TRP/dokumenty/06.pdf](http://www.vscht.cz/main/soucasti/fakulty/fpbt/grant_TRP/dokumenty/06.pdf).
- [42] ŠÁRKA, E., BUBNÍK, Z. Morfologie, chemická struktura, vlastnosti a možnost využití pšeničného B-škrobu. *Chem. Listy*, 2010, no. 104, p. 318–325.
- [43] LAMBERT, L. Věk elektronové mikroskopie. *Scienceworld* [online]. 2003 [cited 2011-05-01]. Available from <http://scienceworld.cz/fyzika/vek-elektronove-mikroskopie-3018>.
- [44] Elektronový mikroskop. *Wikipedie* [online]. [cited 2011-03-15]. Available from [http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektronov%C3%A1\\_mikroskopie](http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektronov%C3%A1_mikroskopie).
- [45] NEBESÁŘOVÁ, J. Elektronová mikroskopie pro biology. [online]. 2001 [cited 2011-04-05]. Available from <http://www.paru.cas.cz/lem/book/Podkap/7.0.html>.

- [46] Scanning electron microscope. *Wikipedia* [online]. [cited 2011-02-21]. Available from [http://en.wikipedia.org/wiki/Scanning\\_electron\\_microscope#cite\\_note-1](http://en.wikipedia.org/wiki/Scanning_electron_microscope#cite_note-1).
- [47] SWAPP, S. Scanning Electron Microscopy (SEM). *Skip to navigation Geochemical Instrumentation and Analysis* [online]. [cited 2011-04-21]. Available from [http://serc.carleton.edu/research\\_education/geochemsheets/techniques/SEM.html](http://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/SEM.html).
- [48] PRAUSE, P., FRYŠ, J. Mikroskop. *Qido magazín* [online]. [cited 2011-02-16]. Available from <http://www.quido.cz/objevy/mikroskop.htm>.
- [49] KNOLL, M. Aufladepotential und Sekundäremission elektronenstrahlter Körper. *Zeitschrift für technische Physik*, 1935, no. 16, p. 467–475.
- [50] LÉTANG, C., PIAU, M., VERDIER, C. Characterization of wheat flour-water doughs. Part I: Rheometry and microstructure. *J. Food Eng*, France. 1999, no. 41, p. 121–132.
- [51] JURAČKA, P., NEBESÁŘOVÁ, J. Skenovací elektronový mikroskop (SEM) ve službách biologie. [online]. 2010 [cited 2011-05-01]. Available from [http://petr.juracka.eu/user\\_files/skripta/ZOBME\\_Juracka\\_Nebesarova\\_SEM.pdf](http://petr.juracka.eu/user_files/skripta/ZOBME_Juracka_Nebesarova_SEM.pdf).
- [52] HORÁKOVÁ, V., KOPŘIVA, R., MEZLÍK, T. *Odrůdy 2008*. 1st ed. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 2008. ISBN 978-80-7401-004-0.
- [53] INGLETT, G. Wheat: Production and utilization. Westport: AVI Publishing Company. Inc., 1974, p. 500.
- [54] DENDY, D., DOBRASZCZYK, B. Cereals and cereal products. Gaithersburg: Aspen Publishers. *Chemistry and Technology*, 2001, p. 429.
- [55] BELDEROK, B., MESDAG, J., DONNER, D. *Bread-making quality of wheat. A century of breeding in Europe. Part One: Developments in bread-making processes. Part Two: Breeding for bread-making quality in Europe*. Dordrecht: Kluwe Academic Publishers, 2000, p. 416.
- [56] PŘÍHODA, J., HRUŠKOVÁ, M. *Hodnocení kvality (Mlynářská technologie sv. 1)*. Praha: Svaz průmyslových mlýnů, 2007. ISBN 978-80-239-9475-9.
- [57] MATĚJKOVÁ, P., KUČEROVÁ, J., ŠOTTNÍKOVÁ, V., VYHNÁNEK, T., MARTINEK, P. Parametry nově vytvořených linií Triticale šlechtěných na

zlepšenou pekařskou jakost. Nitra: Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae. *Acta fytotechnika et zootechnika - Mimoriadne číslo*, 2009, p. 414-422.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

OH	Objemová hmotnost
FN	Číslo poklesu
SEDI	Sedimentační index
GI	Glutein index
N	Obsah dusíkatých látek

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 Pšenice ozimá ( <i>Triticum aestivum</i> ) .....	12
Obr. 2 Stavba obilky .....	21
Obr. 3 Pšeničný endosperm .....	26
Obr. 4 Struktura pšeničného endospermu.....	27
Obr. 5 Amylosa.....	29
Obr. 6 Amylopektin .....	29
Obr. 7 Škrobová zrna .....	31
Obr. 8 Schéma principu TEM a SEM.....	34
Obr. 9 Skenovací elektronový mikroskop .....	35
Obr. 10 Max Knoll (1897-1969).....	36
Obr. 11 Schéma skenovací elektronové mikroskopie.....	39



**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Sklizeň pšenice ozimé v ČR v letech 2009 a 2010 (ŽNĚ) .....	15
Tab. 2 Pekárenská kvalita jednotlivých odrůd pšenice.....	44
Tab. 3 Jednosměrný test významnosti pro šířku malých škrobových granulí.....	47
Tab. 4 Korelace rozměrů malých škrobových granulí s parametry technologické kvality.....	48
Tab. 5 Vzájemné rozdíly odrůd pro malé škrobové granule.....	49
Tab. 6 Korelace odrůd pro délku a šířku velkých škrobových granulí.....	50
Tab. 7 Korelace rozměrů velkých škrobových granulí s parametry technologické kvality.....	51
Tab. 8 Vzájemné rozdíly odrůd pro velké škrobové granule.....	52
Tab. 9 Pekárenské vlastnosti mouky podle sedimentačního indexu.....	54

**SEZNAM GRAFŮ**

Graf. 1 Meziodrůdové srovnání šířky malých škrobových granulí .....	50
Graf. 2 Meziodrůdové srovnání šířky velkých škrobových granulí .....	53