

# **Obsah rezistentního škrobu a N – látek v pšeničné mouce**

Bc. Lenka Kupcová

---

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. Lenka KUPCOVÁ**  
Osobní číslo: **T09549**  
Studijní program: **N 2901 Chemie a technologie potravin**  
Studijní obor: **Technologie, hygiena a ekonomika výroby potravin**

Téma práce: **Obsah rezistentního škrobu a N-látekv pšeničné mouce**

Zásady pro vypracování:

### I. Teoretická část

1. Charakteristika škrobu.
2. Vlastnosti pšeničné mouky.
3. Hodnocení technologické kvality pšeničné mouky.
4. Požadavky na kvalitu pšeničné mouky.

### II. Praktická část

1. Ve vzorcích pšeničné mouky stanovit obsah rezistentního škrobu a N-látek.
2. Zjistit mezi daty možnou závislost.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] VELÍŠEK, J. Chemie potravin I, II, III. OSSIS, Tábor.

[2] Davídek, J., Velíšek, J. Analýza potravin, Ediční středisko VŠCHT, Praha, 1992.

[3] <http://books.google.com/> - Handbook of cereal science and technology, K. Kulp, J.G. Ponte.

[4] <http://scirus.com>.

Vedoucí diplomové práce:

**Mgr. Monika Černá, 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*

## 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 nevydělečně 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 vzdělávacího 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). Odpirá-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**

Předložená diplomová práce se zabývá obsahem celkového škrobu, rezistentního škrobu a dusíkatých látek v pšeničné mouce a statistickém vyhodnocení možné závislosti mezi známými parametry. Teoretická část se podrobně zabývá charakterizací škrobu, vlastnostmi pšeničné mouky a požadavky na její kvalitu. Praktická část je zaměřena na stanovení obsahu celkového škrobu, rezistentního škrobu a následném statistickém vyhodnocení získaných výsledků. Stanovená průměrná hodnota 71,0 % obsahu škrobu ve vzorcích mouky splňovala požadavek normy. Stanovená průměrná hodnota obsahu dusíkatých látek 11,0 % požadavek normy nesplňovala. Naměřené hodnoty a vyhodnocená statistická analýza potvrdila, že škrob, rezistentní škrob a dusíkaté látky spolu vzájemně korelují a jejich obsah je závislý na druhu mouky. Jsou hlavními složkami pšeničné mouky a společně s obsahem a kvalitou lepku mají rozhodující význam při hodnocení jakosti pšeničných mouk.

Klíčová slova: škrob, rezistentní škrob, pšeničná mouka, kvalita

## **ABSTRACT**

The presented thesis deals with the content of total starch, resistant starch and crude protein in wheat flour and statistical evaluation of possible dependencies between the known parameters. The theoretical part deals with the detailed characterization of the starch properties of wheat flour and its quality requirements. The practical part is focused on the determination of total starch, resistant starch and subsequent statistical evaluation of the results. Determined average 71,0 % starch contents in flour samples meet the requirement standards. Determined average content of crude protein requirement of 11,0 % did not meet standards. Measured values and evaluated statistical analysis confirmed that the starch, resistant starch and crude protein are correlated with each other and their content depends on the type of flour. They are major components of wheat flour, and together with the content and gluten quality are crucial in evaluating the quality of wheat flour.

Keywords: starch, resistant starch, wheat flour, quality

Touto cestou bych ráda poděkovala svému vedoucímu diplomové práce, Mgr. Monice Černé, Ph.D. za odborné vedení, poskytnuté rady, které mi věnovala při jejím zpracování a za zapůjčení odborného studijního materiálu. Dále bych chtěla poděkovat společnosti Penam a.s za poskytnutí vzorků a dat.

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

Prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracovala samostatně a použitou literaturu jsem citovala. V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uvedena jako spoluautorka.

Ve Zlíně

.....

podpis diplomanta

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 CHARAKTERISTIKA ŠKROBU</b> .....	<b>13</b>
1.1 CHEMICKÉ VLASTNOSTI ŠKROBU .....	13
▪ Amylóza .....	13
▪ Amylopektin .....	14
1.2 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI ŠKROBU .....	14
1.3 VÝSKYT ŠKROBU .....	16
1.4 DRUHY ŠKROBU .....	17
1.4.1 Bramborový škrob.....	17
1.4.2 Kukuřičný škrob.....	18
1.4.3 Pšeničný škrob .....	19
1.4.4 Rýžový škrob .....	20
1.4.5 Maniokový škrob .....	20
1.5 VÝROBKY ZE ŠKROBU .....	21
1.5.1 Hydrolyzáty škrobu .....	21
1.5.2 Dextriny.....	21
1.5.3 Modifikované škroby .....	22
1.5.4 Stabilizované (substituované) škroby .....	22
1.6 REZISTENTNÍ ŠKROB .....	23
<b>2 VLASTNOSTI PŠENIČNÉ MOUKY</b> .....	<b>25</b>
2.1 VLASTNOSTI A CHEMICKÉ SLOŽENÍ PŠENIČNÝCH ZRN .....	25
2.2 MLETÍ OBILNÉHO ZRNA .....	27
2.3 MÍCHÁNÍ MOUK.....	30
2.4 SKLADOVÁNÍ A DOZRÁVÁNÍ MOUK .....	30
2.5 SROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ PŠENIČNÉ MOUKY S ŽITNOU .....	31
<b>3 HODNOCENÍ TECHNOLOGICKÉ JAKOSTI PŠENIČNÉ MOUKY</b> .....	<b>34</b>
3.1 SCHOPNOST TVORBY PLYNU .....	34
3.2 PEKAŘSKÁ SÍLA MOUKY.....	35
▪ Hodnocení obsahu mokrého lepku.....	35
▪ Hodnocení kvality mokrého lepku.....	35
3.3 SEDIMENTAČNÍ TEST PODLE ZELENÝHO .....	37
3.4 METODA POKUSNÉHO PEČENÍ (PEKAŘSKÝ POKUS) .....	37
3.5 BARVA MOUKY .....	38
3.6 GRANULACE MOUKY.....	38
3.7 OBSAH POPELE.....	39
3.8 HODNOCENÍ REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ.....	39



<b>4</b>	<b>POŽADAVKY NA KVALITU PŠENIČNÉ MOUKY.....</b>	<b>41</b>
4.1	POŽADAVKY NA PŠENIČNOU MOUKU PRO PEČIVÁRENSKÉ ÚČELY.....	41
4.2	POŽADAVKY NA PŠENIČNOU MOUKU PRO PEKÁRENSKÉ ÚČELY.....	42
4.3	POŽADAVKY NA PŠENIČNOU MOUKU PRO TĚSTÁRENSKÉ ÚČELY.....	43
<b>5</b>	<b>CHARAKTERISTIKA VÍCEROZMĚRNÝCH DAT.....</b>	<b>44</b>
5.1	PŘEDÚPRAVA VÍCEROZMĚRNÝCH DAT.....	44
5.1.1	Standardizace dat.....	44
5.1.2	Užití statistických vah.....	44
5.2	PRŮZKUMOVÁ ANALÝZA VÍCEROZMĚRNÝCH DAT.....	44
5.2.1	Zobrazení vícerozměrných dat.....	44
	▪ Zobecněné rozptylové grafy.....	45
	▪ Symbolové grafy.....	45
5.3	METODY K ODHALENÍ STRUKTURY VE ZNACÍCH A OBJEKTECH.....	45
5.4	ANALÝZA HLAVNÍCH KOMPONENT (PCA).....	46
5.5	ANALÝZA SHLUKŮ (CLU).....	46
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>47</b>
<b>6</b>	<b>METODIKA PRÁCE.....</b>	<b>48</b>
6.1	CHARAKTERISTIKA ANALYZOVANÝCH VZORKŮ.....	48
6.2	CHEMICKÁ ANALÝZA.....	48
6.2.1	Stanovení celkového obsahu dusíkatých látek.....	48
	▪ Použité roztoky a chemikálie.....	49
	▪ Použité přístroje.....	49
	▪ Pracovní postup.....	49
6.2.2	Stanovení obsahu škrobu.....	50
	▪ Použité roztoky a chemikálie.....	50
	▪ Použité přístroje.....	51
	▪ Pracovní postup.....	51
6.3	STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ DAT.....	53
<b>7</b>	<b>VÝSLEDKY A DISKUZE.....</b>	<b>54</b>
7.1	STANOVENÍ CELKOVÉHO OBSAHU DUSÍKATÝCH LÁTEK.....	54
7.2	STANOVENÍ OBSAHU ŠKROBU.....	54
7.3	EXPLORATORNÍ ANALÝZA DAT.....	56
7.3.1	Extrémy a odlehlé objekty.....	56
7.3.2	Základní popisné statistiky.....	61
7.3.3	Grafické zobrazení vícerozměrných dat.....	63
7.4	ANALÝZA HLAVNÍCH KOMPONENT.....	65
7.4.1	Redukce znaků.....	65
7.4.2	Hledání vazeb a struktury ve znacích a objektech.....	68
7.5	ANALÝZA SHLUKŮ.....	72
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>74</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>76</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>82</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>84</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>86</b>



## ÚVOD

V Evropě se vyrábí okolo 9 mil. tun škrobu, z čehož 44,0 % se podílí škrob kukuřičný, 18,0 % bramborový a 38,0 % škrob pšeničný. Současné využití škrobu se odhaduje na 50,0 % v potravinářství, 30,0 % v papírenství, 10,0 % v chemickém průmyslu a 10,0 % činí ostatní spotřeba. Nativní škroby slouží jako zahušťovadla a plnidla, poutače vody, želírující látky, stabilizátory pěn nebo emulzí, nosiče vonných látek a náhrady tuků. Používají se přímo nativní škrobová zrna, zrna v dispergované formě, filmy získané sušením škrobových disperzí nebo extrudovaný škrob. Škroby jsou také důležitou surovinou pro výrobu modifikovaných škrobů, některých cukrů a cukerných derivátů. U řady výrobků se modifikované a nativní škroby využívají jako aditivní látky.

Hlavními zdroji škrobu v České republice jsou brambory (*Solanum tuberosum*) a obiloviny, především pšenice (*Triticum aestivum*). Obsah škrobu v pšeničném zrně se pohybuje v rozmezí 60,0–80,0 % v závislosti na odrůdě a podmínkách pěstování. Nižším obsahem škrobu se vyznačují mouky výše vymleté.

Část škrobů, kterou nelze enzymy v tenkém stěvě rozštěpit, je označována jako rezistentní. Obsah rezistentního škrobu v potravinách je závislý především na poměru amylózy/amylopektinu, na způsobu zpracování, podmínkách skladování atd. Nejvyšší obsah rezistentního škrobu obsahují kukuřičné lupínky a to okolo 3,6 %. Výrobky s obsahem rezistentního škrobu jsou charakteristické větším objemem a lepší křupavostí. Potraviny s vysokým obsahem rezistentního škrobu dodávají organismu méně energie a snižují glykemickou zátěž. Z tohoto důvodu jsou vhodné zejména pro diabetiky a osoby, které chtějí snížit svoji hmotnost.

Vlastnosti pšeničné mouky jsou ovlivňovány bílkovinami, sacharidy, lipidy a dalšími složkami pšeničného zrna, a to jejich obsahem vzájemným poměrem a interakcemi. Pšeničná mouka obsahuje méně zkvasitelných cukrů (glukóza, fruktóza a maltóza) než mouka žitná. Pšeničné mouky mají většinou nedostatek enzymů, a proto se do nich přidávají ve formě různých zlepšovacích prostředků. Kvalitu pšeničné mouky významně ovlivňuje obsah a vlastnosti bílkovin. Pšeničná bílkovina je základem stavební struktury pšeničného těsta, protože vytváří při nabobtnání spojitou souvislou strukturní síť (tzv. lepek). Obsah a kvalita mokrého lepku má vliv na objem a tvar pšeničného pečiva.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 CHARAKTERISTIKA ŠKROBU

Škrob se řadí mezi fyziologicky a technologicky nejvýznamnější polysacharidy [1]. Jedná se o směs glukánů, syntetizovaných rostlinami jako jejich hlavní zdroj glukózy [2]. Ukládá se v kořenech, listech, semenech a orgánech cytoplazmy nazývaných plastidy. Především je hlavní složkou obilného zrna, kde je obsažen v endospermu [3].

V obilovinách a rostlinách se vyskytuje škrob ve formě škrobových zrn, která jsou nerozpustná ve studené vodě a liší se tvarem a velikostí podle svého původu. V suchém stavu mohou pohlcovat vzdušnou vlhkost [2]. Tvar škrobových zrn je pro určitý druh obiloviny charakteristický [3]. Jejich velikost se pohybuje v rozmezí 1–110  $\mu\text{m}$  [4]. Jednotlivá škrobová zrna se jeví jako sférokrystaly, které vznikají apozicí nových vrstev, jež se ukládají kolem jádra umístěného ve středu nebo excentricky. Dle počtu jader se dělí zrna na jednoduchá a složená [5].

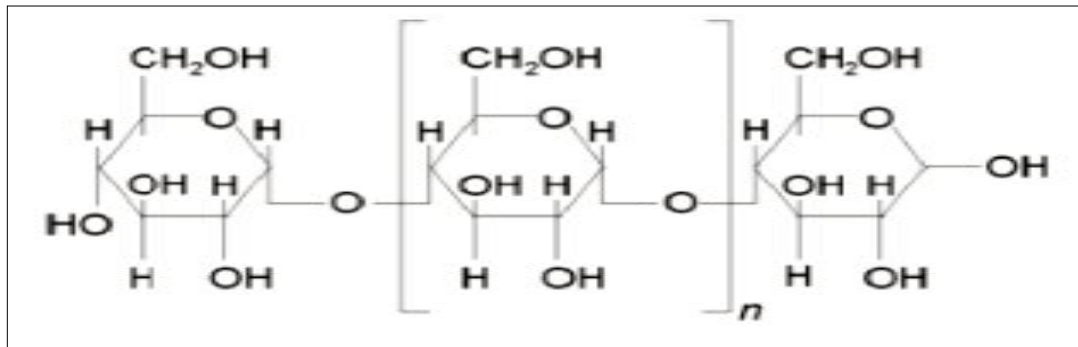
### 1.1 Chemické vlastnosti škrobu

Z chemického hlediska je škrob makromolekulární sacharid, jehož základní stavební složkou je glukóza. Je relativně heterogenní a skládá se ze dvou chemicky a fyzikálně odlišných složek, tzn. amylozy a amylopektinu [5]. Obvykle se vyskytují v hmotnostním poměru 1:3. U některých obilovin (kukuřice, rýže, ječmen) a rostlin (brambory) byly vyšlechtěny odrůdy, u nichž převládá buď amyloza (tzv. amyloškroby a vysoce amylozové škroby) nebo amylopektin (tyto odrůdy se nazývají voskové) [6].

#### ▪ Amylóza

Amylóza (Obr. 1) je lineární ( $\alpha$ -D-(1 $\rightarrow$ 4)-glukan), je částečně esterifikována kyselinou fosforečnou (pšeničný škrob obsahuje 0,055 % fosforu, bramborový škrob 0,07–0,09 % fosforu) a u obilných škrobů tvoří komplexy s lipidy. Díky převládajícím vazbám, 1 (axiální)  $\rightarrow$  4 (ekvatoriální), je molekula amylozy ve vodě a v neutrálních roztocích náhodně svinutá a místy vytváří s helikální strukturou levotočivou šroubovici. U škrobů obilovin obsahuje zpravidla 1000–2000 glukózových jednotek a u bramborového škrobu okolo 4500 glukózových jednotek. Molekulová hmotnost se pohybuje v rozmezí 180–1000 kDa [6].

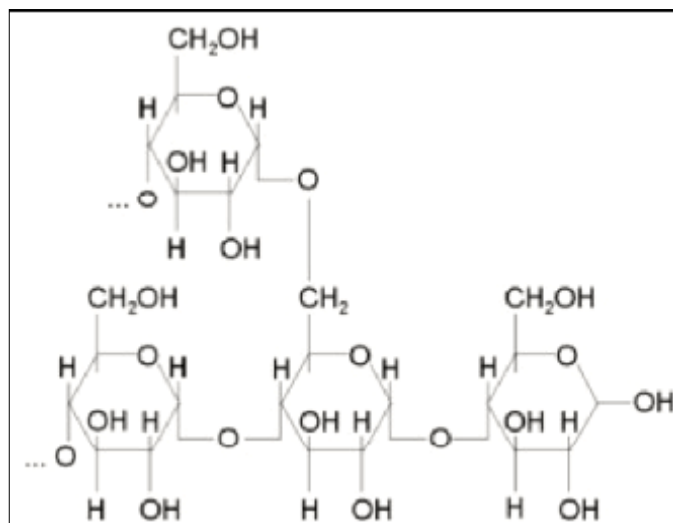
Enzymem  $\alpha$ -amylázou, která štěpí pouze vazbu  $\alpha(1\rightarrow4)$ , se amyloza hydrolyzuje [7]. V horké vodě se rozpouští, její roztoky jsou nestálé a rychle podléhají retrogradaci [5]. Jódem se barví modře [8].



Obr. 1 Znáznornění struktury amyulózy [2]

### ▪ Amylopektin

Amylopektin (Obr. 2) je silně rozvětvený, s polymeračním stupněm 2 miliony [9] a s molekulovou hmotností 10–200 MDa [6]. Amylopektin je nerozpustný ve vodě, v teplé vodě pouze bobtná a vytváří gel. Tento jev ovlivňuje vznik střídy pečárenského výrobku při pečení [10]. Roztokem jodu se barví fialově [2].



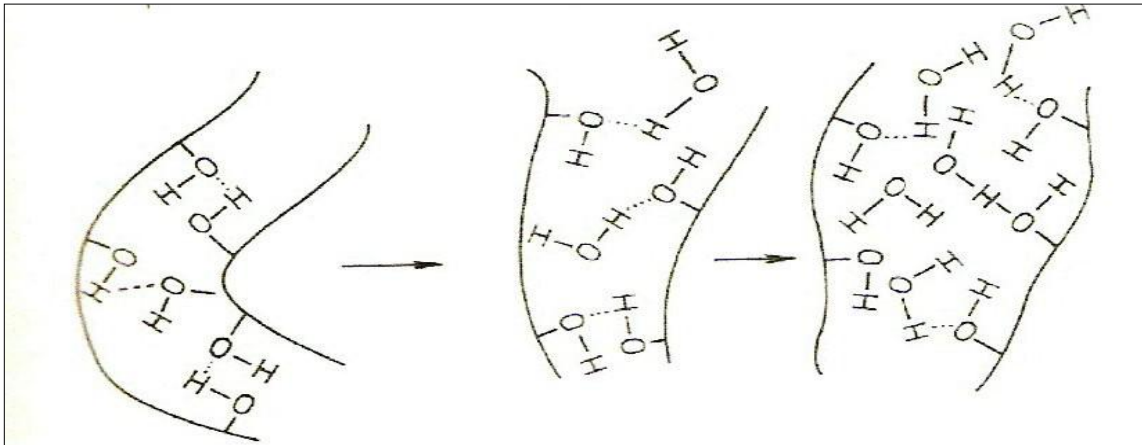
Obr. 2. Znáznornění struktury amylopektinu [2]

## 1.2 Fyzikální vlastnosti škrobu

Škrob je jemný, sypký, bílý až slabě nažloutlý nerozpustný prášek, bez mechanických nečistot, neutrální vůně a chuti [5]. Suchý škrob je látka hygroskopická, přičemž jeho rovnovážná vlhkost je závislá na relativní vlhkosti okolního prostředí. Za běžných podmínek dosahuje u obilných škrobů 14,0 % a u bramborového škrobu 21,0 %. Z toho část tvoří pevně vázaná fyzikálně adsorbovaná voda a voda kapilární (meziprostorová). Škrob ve studené vodě nabobtnává – dochází k omezené adsorpci vody a malému zvětšení

objemu zrn, přičemž tento děj je reverzibilní a celistvost škrobových zrn je přitom neporušena.

Při zahřívání škrobu po dosažení tzv. teploty mazovatění (okolo 60 °C) se intenzivně rozrušují mezimolekulární vodíkové můstky (Obr. 3), zrna začínají prudce zvětšovat svůj objem a uvolněná amyulóza difunduje do roztoku. Při dalším zvyšování teploty hydratace pokračuje a nabobtnalá zrna ztrácejí svoji integritu [1].



Obr. 3 Pronikání vody mezi molekuly škrobu [11]

Důsledkem hydratace a uvolněním amylózy z granulí roste viskozita a při dostatečné koncentraci škrobu vzniká viskózní škrobový maz. Škrobový maz obsahuje mnohonásobně zvětšená škrobová zrna, která obsahují většinu molekul amylopektinu a zbývající molekuly amylózy. Např. pšeničný škrob, po záhřevu 90 °C, obsahuje 8,0 % původního množství amylózy. Pokračuje-li záhřev, viskozita klesá s další ztrátou integrity granulí [6].

Ochlazením škrobového mazu dochází ke zpětné tvorbě vodíkových vazeb mezi molekulami amylózy a amylopektinu. V případě dostatečné koncentrace škrobu vzniká spojitá, pevná trojrozměrná síť, která obsahuje velké množství vody, tzv. škrobový gel. Je-li koncentrace škrobu nižší, vznikají viskózní koloidní roztoky nebo viskózní pasty [1].

Reologické vlastnosti škrobových gelů jsou závislé na původu škrobu, vzájemném poměru amylózy a amylopektinu, teplotě, množství přítomné vody a stupni degradace granulí. Například cereální škroby tvoří kalné gely. Z amyλόzových škrobů vznikají gely při vyšších teplotách a rychleji, než gely ze škrobů voskových odrůd. Také jsou pevnější a jejich pevnost roste s koncentrací škrobu [6].

Struktura gelu se postupně mění tvorbou dalších vodíkových můstků. Řetězce polysacharidu houstnou a dochází k vytlačení vody obsažené v gelu. Tento jev je závislý na teplotě a nazývá se retrogradace. Při teplotě blízké 0 °C je rychlost retrogradace nejvyšší [11].

Narušená škrobová zrna jsou charakteristická sníženou odolností vůči vlivu amylolytických enzymů, které škrob hydrolyzují [12]. Jedná se o  $\alpha$ -amylázu, která štěpí škrob na dextriny a  $\beta$ -amylázu, která následně štěpí dextriny na maltózu. Štěpení nastává hlavně u škrobu žitné mouky, neboť pšeničná mouka obsahuje obvykle pouze  $\beta$ -amylázu [1]. Mouky s vysokou amylolytickou aktivitou vytváří silně lepivá těsta. Naopak u mouk, které postrádají amylázy, je mazovatení škrobu a fermentace těsta zpomalena, čímž je doba zrání těsta prodloužena [13].

### 1.3 Výskyt škrobu

Hlavními zdroji škrobu v České republice jsou brambory (*Solanum tuberosum*) a obiloviny, především pšenice (*Triticum aestivum*), žito (*Secale cereale*), ječmen (*Hordeum vulgare*), oves (*Avena sativa*), kukuřice (*Zea mays*) a rýže (*Oryza sativa*). Nově také pseudocereálie laskavec (*Amaranthus hypochondriacus*). Významným zdrojem škrobu jsou zralá semena luštěnin, např. hrachu (*Pasum sativum*), různých druhů fazolí (*Phaseolus spp.*) a čočky (*Lens culinaris*). Obilná zrna obsahují 40,0–90,0 % škrobu v sušině, luštěniny 30,0–70,0 % a hlízy rostlin 65,0–85,0 %. V mnoha zemích se získává škrob z hlíz sladkých brambor (tzv. topinambur, *Heliantus tuberosus*) a rostliny *Manihot esculenta* zvané v Asii a Africe kassava, v jižní Americe maniok, juka a též tapioka. Dalšími zdroji škrobu je ságo (tzn. dřev některých palm a cykasů) [6]. V tropických a subtropických oblastech k výrobě škrobu slouží maniok, batáty a čirok [14]. Z ovoce jsou využívány banány (*Musa cavendishi*), které obsahují malé množství škrobu, jedlé kaštiny (*Castanea sativa*) a různé ořechy. Vyšší obsah škrobu mají zejména oříšky ledvinovníku západního (*Anacardium occidentale*), zvané kešu [6].

Technologie výroby škrobu je poměrně jednoduchá. Granule se vyskytují volně v amyloplastech a nejsou fyzikálně ani chemicky vázány. Jelikož je jejich měrná hmotnost vysoká (okolo 1600 kg.m<sup>-3</sup>), lze je po rozdrcení suroviny vypíráním a dekantací na sítích nebo v odstředivkách oddělit a získat škrob v čisté formě [6].



Nativní škrob vzhledem ke své schopnosti vázat vodu nachází uplatnění především v potravinářském průmyslu při výrobě maltodextrinů, krystalického cukru, glukózových a fruktózových sirupů. Dále v lihovarnickém, v textilním a kosmetickém průmyslu [14].

V České republice se škrob získává pouze z brambor a pšeničné mouky [1].

## 1.4 Druhy škrobu

### 1.4.1 Bramborový škrob

Škrob je nejdůležitější složkou bramborové hlízy. Bramborová hlíza obsahuje okolo 75,0 % vody, zbytek hlízy tvoří sušina. V sušině převládá škrob (65,0–80,0 %), kterého je méně pod slupkou a ve středu hlízy, naopak více v cévních svazcích [15]. Nejvíce škrobu obsahují středně velké hlízy [2]. Hlízy pro získávání škrobu by měly být bohaté na obsah škrobu, měly by být dobře skladovatelné, s vyšším podílem koagulovatelných bílkovin a s nízkým obsahem solaninu a glykoalkaloidů, aby bílkoviny byly dále využitelné. Škrob je izolován především z polopozdních a pozdních odrůd brambor. Pro získávání škrobu se ve významné míře šlechtí odrůdy, které by měly obsahovat škrob skládající se jen z amylopektinu [15].

#### ▪ Vlastnosti bramborového škrobu

Bramborová škrobová zrna jsou oválná, vejčitá až lasturnatá s dobře zřetelným rýhováním, s jádrem umístěným excentricky a měrnou hmotností 1,648 [5]. Škrobová zrna bramborového škrobu dosahují velikosti 15–100 $\mu$ m [2].

#### ▪ Využití bramborového škrobu

Bramborový škrob je využíván především v potravinářském průmyslu [16]. Největší uplatnění nachází v potravinářském průmyslu pod názvem solamyl [18]. Dále je využíván na výrobu bioetanolu a butanolu, keramiky a pastelek [17].

Bramborový škrob je upřednostňován v potravinářství kvůli čirosti škrobových mazů (tzn. díky nižšímu obsahu lipidů a proteinů), neobsahuje lepek a má neutrální chuť. V papírenském průmyslu je preferován z důvodu vyšší molární hmotnosti amylozy a její dobré rozpustnosti. Je upřednostňován i při výrobě dextrinů [1].

#### ▪ Fyzikální a chemické požadavky na jakost bramborového škrobu

- obsah sušiny min. 80,0 %

- obsah popela sušiny max. 0,5 %
- obsah dusíkatých látek (N-I) v sušině 0,15 %
- množství stipů viditelných pouhým okem na 1 dm<sup>2</sup> max. 200
- reakcí s jodem tvoří tmavomodré zbarvení
- ve vodě a organických rozpouštědlech musí být rozpustný [19].

#### 1.4.2 Kukuřičný škrob

Kukuřičné zrno sloužící k výrobě škrobu se musí vyskytovat ve velkých a homogenních partiích. Musí být rovnoměrně a zcela vyzrálé, s vysokým obsahem škrobu. Přípustný je pouze malý obsah příměsí, prachu a úlomků zrn [15].

Kukuřičný škrob se získává z kukuřice škrobnaté, která se vyznačuje moučnatým zrnem s matným povrchem. Největším producentem kukuřičného škrobu jsou Spojené státy americké [20]. Zvláštní druh škrobu poskytuje vosková a amyložní kukuřice. U voskové kukuřice se celá škrobová zrna sestávají jen z amylopektinu, zatímco u amyložních hybridů mají vysoký podíl amylozy. K produkci škrobu jsou využívány kukuřičné hybridy typu koňský zub (tzv. dent corn) a tvrdé kukuřice (tzv. flint corn). Obsahují okolo 70,0 % škrobu, který se u hybridů tvrdé kukuřice těžce získává a ztrácí se s jemnými vlákny pocházejícími z endospermu. Proto se průmyslově využívají hlavně hybridy typu koňský zub [15].

##### ▪ Vlastnosti kukuřičného škrobu

Kukuřičný škrob obvykle tvoří zrna složená o velikosti 50 μm. Jednoduchá zrna dosahují velikosti 7–30 μm. Tvar škrobových zrn je hranatý, bez zřetelného vrstvení [5]. Ze 160 kg obilí kukuřice lze získat technologickým zpracováním až 100 kg škrobu [15].

##### ▪ Využití kukuřičného škrobu

Kukuřičný škrob se využívá především jako zahušřovadlo v potravinách, ve kterých váže vodu a prodlužuje trvanlivost. Jedná se např. o majonézy, krémy a těsta. Z vedlejších produktů nachází uplatnění rafinovaný kukuřičný gluten, který se používá na přípravu potravinářských ochucovadel [21]. Dále jsou to klíčky, které se používají k výrobě kukuřičného oleje, vláknina, která se využívá při výrobě suchých kukuřičných krmiv a kukuřičný extrakt (tzv. cornsteep) sloužící k přípravě živných půd nebo jako složka krmiva [22].

**▪ Fyzikální a chemické požadavky na jakost kukuřičného škrobu**

- obsah sušiny min. 86,0 %
- obsah popela sušiny max. 0,5 %
- obsah dusíkatých látek (N-1) v sušině 1,0 %
- reakcí s jodem tvoří tmavomodré zbarvení
- ve vodě a organických rozpouštědlech musí být rozpustný [19].

**1.4.3 Pšeničný škrob**

Pro výrobu pšeničného škrobu se používá jednomletá mouka, která by měla obsahovat co nejvíce zachytitelného lepku, předepsané množství popela a co nejméně jemných otrub [5]. Pěstují se odrůdy jak měkké, tak i tvrdé pšenice. Z tvrdé pšenice je škrob obtížněji izolován. Obilky by měly obsahovat vyšší podíl zkvasitelných cukrů vznikajících ze škrobu, kterého by mělo být min. 65,0 % v sušině [15]. Technologické zpracování pšenice je nejvýhodnější, protože vedle škrobu je získáván i pšeničný lepek [2]. Z 220 kg obilek pšenice lze získat až 100 kg škrobu [15].

**▪ Vlastnosti pšeničného škrobu**

Škrobová zrna mají obvykle čočkovitý až kulatý tvar s centrálním, méně patrným vrstvením [5]. Dle velikosti se dělí na škrob malozrnný (tzv. škrob B), jehož velikost se pohybuje v rozmezí 5–10  $\mu\text{m}$  a škrob velkozrnný (škrob A) o velikosti přibližně 25  $\mu\text{m}$ . Malá zrna jsou pevně fixována na bílkovinnou matici, jsou velmi špatně oddělitelná, a tím snižují výtěžnost škrobu i kvalitu lepku. Navíc byl ve škrobu B prokázán podstatně vyšší obsah dusíku, než ve škrobu A. Tento dusík není jen bílkovinného původu, ale pochází také z fosfolipidů, které jsou pevně spojeny se škrobovými zrny. Velká škrobová zrna obsahují vyšší podíl amylózy, jsou snadněji degradovatelná  $\alpha$ -amylázou a jejich mazovatení nastává při nižších teplotách než u malých škrobových zrn [23].

**▪ Využití pšeničného škrobu**

Nativní pšeničný škrob se využívá především pro pekárenské účely, jako zahušťovadlo v potravinářském průmyslu nebo při výrobě papíru [15]. Jelikož obsahuje větší množství dusíkatých látek (bílkovin a lipoproteinů), nesmí být použit při některých dietách (např. bezlepkových). Při výrobě glukózových sirupů mohou tyto látky vést ke vzniku barevných

sloučenin Mailardovou reakcí. Vzhledem ke kompaktní struktuře zrna je méně vhodný pro výrobu některých modifikovaných a substituovaných škrobů [1].

▪ **Fyzikální a chemické požadavky na jakost pšeničného škrobu**

- obsah sušiny min. 86 %
- obsah popela sušiny max. 0,4 %
- obsah dusíkatých látek (N-1) v sušině 0,55 %
- reakcí s jodem tvoří modrofialové zbarvení
- ve vodě a organických rozpouštědlech musí být rozpustný [19]

#### 1.4.4 Rýžový škrob

Mezi méně významné zdroje škrobu náleží rýže. Řadí se mezi teplomilné obiloviny z čeledi lipnicovitých. Rýže je nejbohatší surovinou na obsah škrobu, ale je řazena mezi obiloviny nejchudší na obsah bílkovin [24].

Pro potravinářské účely je významná rýže setá (*Oryza sativa*), která se člení na rýži setou krátkozrnnou (*Oryza sativa* subsp. *brevis*) a rýži setou obecnou (*Oryza sativa* subsp. *communis*). Dále se dělí dle jakosti na rýži moučnatou a sklovitou. Rýže sklovitá není vhodná na výrobu škrobu [25]. Na jeho výrobu se využívají zejména drobná a k sobě shluklá rýžová zrna ze zlomové nebo odpadní rýže.

▪ **Vlastnosti rýžového škrobu**

Rýžový škrob je ostrohranný bez patrného vrstvení. Vyskytuje se především ve formě zrn složených o velikosti 20  $\mu\text{m}$ . Jednotlivá zrna dosahují velikosti okolo 5  $\mu\text{m}$  [5].

▪ **Využití rýžového škrobu**

Rýžový škrob je nenahraditelný v textilním průmyslu. Používá se na ztužování textílií nebo jako pudr v kosmetickém průmyslu [5].

#### 1.4.5 Maniokový škrob

Maniok pochází z Jižní Ameriky, pěstuje se v tropických oblastech a řadí se mezi okopaniny [26]. Škrob se získává z kořenů manioku obecného (*Manihot utilissima*), které mají ze všech rostlin největší koncentraci škrobových zrn o velikosti 5–35  $\mu\text{m}$ . Hmotnost kořene činí 2–4 kg (max. 15 kg). Jejich průměrné látkové složení je: 65,0 % vody, 1,4 %

dusíkatých látek, 0,1 % tuku, 1,0 % vlákniny, 0,9 % popelovin, 31,0 % bezdusíkatých extraktivních látek (z toho 90,0 % škrobu) a 0,6 % ostatních látek [21]. Dále obsahuje vysoce toxický kyanid, který se odbourává vařením [26].

Nečistý maniokový škrob se nazývá kassave a upravený maniokový škrob se nazývá tapioka [21].

#### ▪ **Využití maniokového škrobu**

Maniokový kořen se odvodňuje, suší, mele, prosévá a získává se kassavová mouka, která se přidává v malém množství (10,0–18,0 %) k pšeničné mouce při výrobě chleba [21]. Dále se v potravinářství využívá maniokový ocet [26]. Nejjemnější maniokový škrob, tzv. brazilský škrob (arrow-root), nachází uplatnění při výrobě tzv. umělého sága [21].

### **1.5 Výrobky ze škrobu**

Nativní škroby jsou jednoduché deriváty škrobu nebo škroby, které jsou vyrobené bez úprav fyzikálně-chemických vlastností. Takovým způsobem získaný škrob nemá vhodné vlastnosti, a proto není vhodný k používání. Má silnou tendenci vytvářet gel, jeho viskozita je příliš vysoká, naopak dispergovatelnost a rozpustnost velmi nízká [2].

Škrob se obvykle přímo ve škrobárně zpracovává na další výrobky.

#### **1.5.1 Hydrolyzáty škrobu**

Společnou vlastností těchto výrobků je hluboká až téměř úplná hydrolyza škrobové molekuly. Hluboké rozštěpení škrobu je vyjadřováno jako tzv. „stupeň zcukření“. Škrob je hydrolyzován kyselinami nebo enzymy. Základní rozdíl mezi kyselou a enzymovou hydrolyzou spočívá v rozdílném způsobu štěpení škrobu. Na počátku kyselé hydrolyzy převládají dextryny, následně se zvyšujícím se dextrózovým ekvivalentem jejich množství velmi klesá a přibývá glukózy. Při enzymové hydrolyze lze získat pestrou škálu hydrolyzátu s libovolným stupněm zcukření. Hydrolyzou lze získat sirupy v kapalném stavu, produkty získané usušením zahuštěných sirupů a krystalickou glukózu [21].

#### **1.5.2 Dextryny**

Technické dextryny se získávají pražením suchého škrobu za přítomnosti katalyzátorů, a to kyselin nebo solí. Obvykle se v praxi vyrábějí bílé a žluté dextryny [1].

Dextriny se využívají zejména při výrobě lepidel [21]. Dále nacházejí uplatnění při konečné úpravě textílií (tzv. apretaci), k zahušťování barviv na vodní bázi, při výrobě zápalek a tužek. Ve slévárenství se uplatňují při výrobě žáruvzdorné keramiky nebo brusných kotoučů. V potravinářství se aplikují na výrobky nebo polotovary, kde přispívají jako prostředek k udržení tuku ve výrobku, jako přísada do pekařských a zmrazených výrobků, do plev a náplní [1].

### 1.5.3 Modifikované škroby

Modifikované škroby jsou výrobky ze škrobu (tzv. deriváty škrobu), jejichž vlastnosti jsou fyzikálně-chemickou cestou upraveny, ale musí mít minimálně jednu původní charakteristickou vlastnost zachovanou. Modifikační proces některou původní charakteristickou vlastnost zvýrazní, potlačí nebo vytvoří vlastnost novou [22]. Chemickou cestou lze získat degradované nebo oxidované škroby, pomocí enzymů za vzniku tzv. maltodextrinů. Fyzikální cestou lze připravit termicky upravené a extrudované škroby [1].

Extrudované škroby se využívají v papírenství, v textilním průmyslu, jako komponenty dřevotřískových desek a ve slévárenství jako pojiva pro formy.

Oxidované škroby lze použít při výrobě lepidel, na škrobení prádla a jako zlepšovadlo mechanických vlastností kůže. V potravinářství především jako zahušťovadlo, stabilizátor, dílčí náhrada želatiny a jako zlepšovací přísada do pekařsky slabých mouk.

Maltodextriny nahrazují tuky při výrobě nízkoenergetických potravin [1].

### 1.5.4 Stabilizované (substituované) škroby

Stabilizované škroby se obvykle vyrábějí ze škrobů nativních, ale také ze škrobů modifikovaných kyselou hydrolýzou, dextrinací, zesíťením apod. [6]. Do skupiny substituovaných derivátů škrobu náleží produkty, které jsou získané syntetickým vnesením substitučních skupin do molekul škrobu [21]. Modifikace spočívá v substituci některých hydroxylových skupin polysacharidů za vzniku škrobových esterů (acetáty, fosfáty, sukcináty aj.) a škrobových eterů (hydroxyalkyletery) [6].

## 1.6 Rezistentní škrob

Škrob je řazen mezi využitelné polysacharidy, které jsou v tenkém střevě snadno štěpeny. Při trávení se uplatňuje  $\alpha$ -amyláza slin, pankreatická  $\alpha$ -amyláza a izoamyláza štěpicí vazby  $\alpha$  (1 $\rightarrow$ 6) amylopektinu a také glykogenu [6].

Většina škrobů náleží do kategorie rychle nebo pomalu stravitelných. Některé škroby jsou řazeny mezi nevyužitelné polysacharidy, které tvoří vlákninu (např. obilná zrna konzumovaná v syrovém stavu, chráněná buněčnými stěnami zabraňujícími přístupu amyláz), protože jsou částečně rezistentní nebo neakceptovatelné pro hostitelské amylolytické enzymy [6].

Rezistentní formy škrobu činí asi 1,0 % z celkového konzumovaného množství. Procházejí do tlustého střeva, kde jsou částečně metabolizovány a využity přítomnou mikroflórou [6]. V tlustém střevě podporují tvorbu máselnanů, které podněcují látkovou výměnu střevních buněk a způsobují pozvolné odumírání nádorových buněk [31].

Jako rezistentní škrob je označována část škrobů, kterou nelze enzymy v tenkém střevě rozštěpit. Rezistentní škrob je pomalu stravitelný, protože vstupuje nerozštěpený do tlustého střeva, kde částečně nebo zcela kvasí [20]. Má fyziologické vlastnosti stejné jako dietní vláknina [27].

Mezi faktory ovlivňující vstřebávání škrobu figuruje fyzická nedostupnost škrobu pro trávicí enzymy. Jedná se například o škrob (tzv. RS1), který je obsažený v neporušených rostlinných strukturách, kam enzymy neproniknou [28].

- RS1: Je označován škrob, který je fyzikálně nepřístupný štěpení. Jedná se o neporušená celá zrna nebo zrna částečně drcená.
- RS2: Jsou označovány škrobové granule s nativní rezistencí. Tyto granule se nacházejí zejména ve vysoko-amylózovém kukuřičném škrobu a banánech.
- RS3: Je označován retrográdní škrob. Nachází se např. ve vařených a chlazených bramborách, chlebu a některých typech cornflakes.
- RS4: Je označován chemicky modifikovaný škrob [29].

Výrobky s obsahem rezistentního škrobu jsou pro spotřebitele přijatelnější, než výrobky obohacené o některé tradiční druhy vlákniny, jelikož dodávají výrobkům větší objem a lepší křupavost. Proto se záměrně může přidávat do snacků, těstovin, nudlí, smažených

pokrmů a pekařských výrobků. Lze ho přidávat do výrobků se sníženým obsahem tuku a cukru, protože potraviny s vysokým obsahem rezistentního škrobu dodávají organismu méně energie a snižují glykemickou zátěž. Z tohoto důvodu jsou vhodné zejména pro diabetiky a osoby, které chtějí snížit svoji hmotnost.

Zvýšení obsahu rezistentního škrobu v potravinách lze provést modifikací výrobních podmínek (např. pH, teplota) [30]. Obsah rezistentního škrobu v potravinách je závislý především na poměru amylózy/amylopektinu, na způsobu zpracování, podmínkách skladování a jeho vlastnostech [27]. Retrogradací škrobu se zvyšuje jeho rezistence vůči amylolytickým enzymům asi o 1,0 % [6]. Např. potravinářské zpracování, které zahrnuje horko a vlhko, může zničit RS1 a RS2, ale může formovat RS3 [29].

Nejvyšší obsah rezistentního škrobu obsahují kukuřičné lupínky a to okolo 3,6 %. Tyto obsahy rezistentního škrobu se nejeví jako výživně podstatné. Cílem je vytvoření snídaňových cereálií s vyšším obsahem rezistentního škrobu (10,0–20,0 %), který vytvoří podstatný rozdíl ve fyziologických vlastnostech těchto potravin [30].

První komerční výrobek rezistentního škrobu uvedla na trh v roce 1993 firma Starch Australasia pod názvem Hi-maize. Vyrábí se z hybridu kukuřice obsahující více než 80,0 % amylózy. Tento výrobek obsahuje 42,0 % rezistentního škrobu a našel široké uplatnění v Austrálii při výrobě chleba a jiného pečiva [32].

V současné době se používá jako přídatná látka modifikovaný škrob monofosforečnan škrobového difosforečnanu. Označuje se jako aditivum E 1413 a používá se ke stabilizaci textury výrobků, např. polévek, omáček, masových šťáv a náplní do koláčů [33].

Rezistentní škroby se velmi snadno směšují s ostatními ingrediencemi a vedou k přípravě chutných výrobků, což je velmi přínosné pro řadu výrobků, u kterých není vhodné zvyšovat obsah vlákniny, aniž by došlo k nežádoucím změnám v jejich chuti, textuře a vzhledu [34].



## 2 VLASTNOSTI PŠENIČNÉ MOUKY

Roční spotřeba mouky činí v ČR 98 kg na osobu. Z toho 87 kg mouky pšeničné a 11 kg mouky žitné. Průměrně se 60,0–70,0 % mouky spotřebuje pro výrobu chleba a pečiva a 10,0–12,0 % na drobnou spotřebu v domácnostech. Zbytek mouky se používá k těstářenským a pečivářenským účelům [3].

Zpracovatelské vlastnosti mouky jsou ovlivňovány chemickým složením obilného zrna, strukturním uspořádáním hlavních chemických složek a změnami v průběhu zrání, vymílání mouky, skladování obilí a mouky [35].

### 2.1 Vlastnosti a chemické složení pšeničných zrn

Pšenice je v ČR nejvýznamnější obilninou. Zaujímá přibližně 51,0–52,0 % plochy obilnin a vzhledem k vysoké úrovni i stabilitě výnosů poskytuje v ČR každoročně okolo 55,0 % produkce obilovin. Roční produkce pšenice v ČR činí 4 mil. tun. Z toho přibližně 190 tis. tun (4,7 % průměrné produkce) připadá na osivo, 1 200 tis. tun (30,0 % průměrné produkce) připadá na výrobu mouky a potravinářských výrobků a 2 600 tis. tun (65,0 % průměrné produkce) připadá na ostatní účely (např. průmyslové využití, výroba krmiv a export) [36].

Z výživového hlediska kryjí obiloviny asi 33,0 % energetické hodnoty, zajišťují 30,0 % bílkovin, 56,0 % sacharidů a 10,0 % tuku. Pšenice je celosvětově nejrozšířenější obilovinou pro pekařské využití [20].

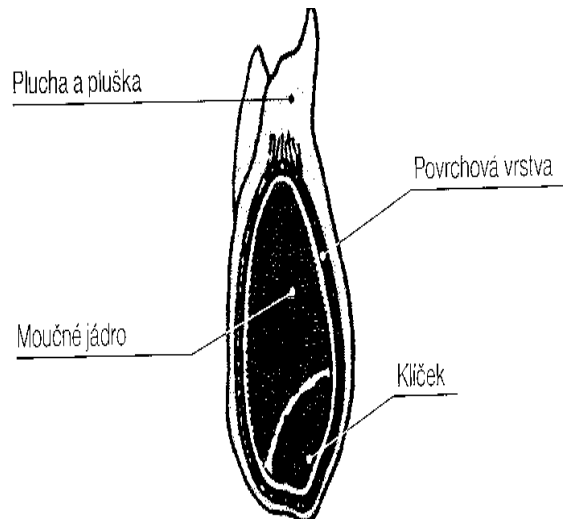
Vlastnosti potravinářské pšenice jsou určeny genetickým základem, vloženým při šlechtění a na technologické kvalitě zrna se významně podílejí interakce s ročníkem a agrotechnikou pěstování. Z hlediska mlýnsko-pekárenského zpracování je důležité, aby hodnoty parametrů jakosti potravinářské pšenice byly v průběhu ročníku i lokalit pěstování co nejvyrovnanější [37].

Pšeničná obilná zrna obsahují 60,0–76,0 % škrobu, 9,0–14,0 % bílkovin a 2,0–7,0 % tuků. Téměř polovinu přítomného tuku tvoří esenciální mastná kyselina linolová [38]. Dále jsou obilná zrna významným zdrojem vitaminů, minerálních látek, esenciálních mastných kyselin, rostlinných enzymů a vlákniny.

Obilné zrno se z anatomického hlediska skládá z několika vrstev (Obr. 4):

– **Moučné jádro zrna** (82,0 %) je tvořeno zejména škroby a rostlinnými bílkoviny.

- **Klíček zrna** (3,0 %) je tvořen esenciálními mastnými kyselinami, vitaminy a minerálními látkami.
- **Povrchová vrstva** (5,0 %) obsahuje zejména hrubou vlákninu, vitaminy, minerální látky a stopové prvky.
- **Plucha a pluška** je tvořena převážně hrubou vlákninou.



Obr. 4 Anatomická stavba obilného zrna [39]

Z botanického hlediska se pšenice řadí mezi trávy (*Gramineae*) z čeledi lipnicovité (*Poaceae*) [3]. Z taxonomického hlediska je řazena k rodu *Triticum*. Pěstuje se v mnoha odrůdách, přičemž nejdůležitější je *Triticum aestivum* (pšenice obecná, měkká), *Triticum durum* (pšenice tvrdá) a *Triticum spelta* (pšenice špalda) [40].

*Triticum aestivum* (pšenice obecná) je charakteristická malými zrny, měkčím endospermem a nižším obsahem bílkovin (10,0–14,0 %). Je významným zdrojem dobře stravitelného škrobu, ale je chudá na obsah hrubé vlákniny. Její lepek je charakteristický tmavší barvou, menší pevností, pružností a tažností. Nachází uplatnění především v pekařství a cukrářství [12].

*Triticum durum* (pšenice tvrdá) se vyznačuje většími zrny, více vyvinutým klíčkem a tvrdým endospermem [24]. Čím více bílkovin je v zrnu obsaženo, tím je zrno tvrdší [38]. Pšeničné obilné zrno je významným zdrojem cukrů, minerálních látek a lepku. Lepek se vyznačuje světlou barvou, malou tažností a velkou pevností. Pro výrobu chleba a pečiva nelze použít mouku semletou z tvrdé pšenice, protože by pečivo vytvářelo malý objem [41].

*Triticum spelta* (pšenice špalda) má vysoký obsah pomalu se vstřebávajících sacharidů, z nichž převážnou část tvoří škrobové látky a vláknina. Vyznačuje se především vysokým obsahem bílkovin (13,0–19,0 %), vitaminů B<sub>1</sub> a minerálních látek (P, Mg, Se). Významný je i obsah  $\beta$ -karotenu a tiokyanátu s protiinfekčními účinky [42]. Jelikož je lepek této pšenice horší kvality, využívá se pšenice špalda především pro přípravu těstovin a müsli. Dále nachází uplatnění v bioproduktech, jelikož se vyznačuje ořechovou vůní a chutí [43].

Jakostně horší obiloviny se mohou zpracovávat na výrobu etanolu. Ale nelze na jeho výrobu použít obilí podřadné, poškozené či napadené chorobami. Lihovary vyžadují kvalitní suroviny, aby produkce lihu byla konkurenceschopná [15]. Obiloviny vhodné pro produkci etanolu musí mít vysoký obsah škrobu (okolo 58,0 %) a max. 11,0 % bílkovin [44]. Obsah škrobu je důležitým faktorem, který přímo ovlivňuje výtěžnost etanolu [45].

Pšenice chudé na obsah zásobních lepkových bílkovin jsou vhodné ke krmným účelům. Naopak mouka semletá z pšenice tvrdé, která je bohatá na obsah lepku, nachází uplatnění při výrobě těstovin [15].

## 2.2 Mletí obilného zrna

Mletí pšenice se označuje jako mletí na vysoko a je žádoucí získat na počátku mlecího procesu maximální množství jakostních krupic, zejména krupic hrubých [49]. Mlýnská technologie se při mletí pšenice dělí na tři základní etapy:

- **Šrotování**, které má za úkol otevření a postupné drcení zrna na hrubé části endospermu, za účelem získání max. podílu krupic a málo šrotové mouky s nízkým obsahem popela.
- **Luštění krupic, během kterého** nastává drcení vytříděných a vyčištěných krupic, které obsahují část neporušené slupky a následně se čistí na rovinných vysévačích a reformách s výstupem kvalitní pekařské mouky.
- **Vymílání na vymílacích chodech**, kde dochází k drcení částic čistého endospermu na požadovanou granulaci a získávají se pasážní hladké mouky [46].

Technologický postup je obvykle složen z 5 šrotových, 4–5 luštících a min. 6 vymílacích pasáží [3].

Na efektivnost mlýnské technologie, výtěžnost krupic a přední mouky má vliv především tvrdost zrna, protože tvrdší pšenice poskytují pekařsky kvalitnější mouky,

zejména vlivem vyšší vaznosti vody. Pro optimální režim drcení zrna ve mlýně je považována pšenice s vyrovnanou tvrdostí ve střední kategorii. Vlivem různé tvrdosti zrna jsou také časově a technicky odlišně náročné procesy kondicionování, mletí a vysévání. Pro měkké pšenice je doba odležení po nakrápění kratší, neboť voda prostupuje do prostorů mezi škrobovými granulemi rychle. V případě tvrdé pšenice jsou tyto prostory omezené, a proto voda proniká prostřednictvím pomalejšího procesu, tzv. difuze. Dezintegrace endospermu tvrdé pšenice vyžaduje značnou přítlačnou sílu na rozdíl od měkké pšenice. Pro měkké pšenice je proces vysévání meliva naopak obtížnější, protože částice mouky mají adhezní tendence. Relativní tvrdost pšenice je nejčastěji zjišťována prostřednictvím stanovení indexu velikosti částic, (tzv. PSI). Dle indexu velikosti částic je pšenice řazena do osmi kategorií (Tab. 1).

Tab. 1 Stupnice relativní tvrdosti pšenice [46]

<i>Kategorie</i>	<i>PSI (%)</i>
Extra tvrdá	Pod 7,0
Velmi tvrdá	8,0–12,0
Tvrdá	13,0–16,0
Středně tvrdá	17,0–20,0
Středně měkká	21,0–25,0
Měkká	26,0–30,0
Velmi měkká	31,0–35,0
Extra měkká	Nad 35,0

Vlastnosti mouky jsou určovány stupněm vymletí. Nízkým vymletím se vyznačují velmi jemné mouky, naopak hrubý celozrnný šrot vysokým vymletím. Mouky méně vymleté obsahují zejména částice endospermu, mouky více vymleté obsahují i části aleuronové vrstvy, klíčku a obalů [57].

Výše vymleté mouky se vyznačují nižším obsahem škrobu, vyšším obsahem minerálních látek, vitaminů, enzymů a cenné hrubé vlákniny. Vyšší obsah minerálních látek má vliv na zvýšenou kyselost mouky. Také jakost bílkovin je z technologického hlediska méně kvalitní. Při výrobě světlých typů mouk se vymílá pšenice na 70,0–77,0 %.

U chlebových mouk je procento vymletí zvyšováno na 83 % a u celozrnných mouk až na 97,0 % [12].

Dle stupně vymletí rozlišuje vyhláška Ministerstva zemědělství č. 333/1997 Sb. z 12. 12. 1997 skupinu mlýnských výrobků na jednotlivé podskupiny a to na mouku hladkou, polohrubou, hrubou a celozrnnou [59]. Jednotlivé podskupiny jsou rozlišovány podle granulace a obsahu popela.

### **Mouky hladké**

Pšeničná světlá – obsah popela max. 0,6 % v sušině

Pšeničná polosvětlá – obsah popela max. 0,75 % v sušině

Pšeničná chlebová – obsah popela max. 1,15 % v sušině

**Mouka polohrubá** pšeničná – obsah popela max. 0,5 % v sušině

**Mouka hrubá** pšeničná – obsah popela max. 0,5 % v sušině

**Mouka celozrnná** pšeničná – obsah popela max. 1,9 % v sušině [3].

Mouky hladké pšeničné se získávají ze směsi tvrdé a měkké pšenice, ale obsahují podstatně méně bílkovin a lepku než tzv. chlebová mouka určená k výrobě chleba [48]. Mouky hladké, polohrubé a celozrnné jsou vhodné převážně pro přípravu kynutého těsta [49]. Bílá mouka je pomleta z obilného zrna, které je nejprve zbaveno slupky a klíčku. Z tohoto důvodu je bílá mouka chudá na obsah vlákniny, nenasycené tuky, rostlinné enzymy, vitaminy a minerální látky. Čím je zrno před opracováním na mouku více opracováno a mouka světlejší a jemnější, tím je mouka chudší na obsah cenných látek [48].

Z výživového hlediska je nejlepší mouka celozrnná (tzv. tmavá), anebo alespoň výše vymletá, která má odstraněnou menší část povrchové slupky [49]. Získává se z celého pšeničného zrna i se slupkou. Přítomná slupka brání nakynutí [48]. Tmavé mouky se vyznačují sníženým obsahem škrobu ve prospěch ostatních složek. Mají zejména vyšší obsah minerálních látek, vitaminů, enzymů a cenné hrubé vlákniny [49]. Z této mouky se získá chuťově výraznější, výživnější i chutnější chleba než z mouky bílé hladké. Chlebová mouka se mele z tvrdé pšenice, která má vyšší podíl lepku než mouka hladká a díky němu je těsto pružnější a bochník nadýchanější [48].

## 2.3 Míchání mouk

Na technologický proces mletí navazuje míchání mouk. Mícháním mouk je dosažena standardní jakost mouky, která musí odpovídat příslušným normám [49].

Během mletí obilí se na každé mlecí pasáži získá určité množství mouky, tzv. pasážní mouky. Z nich se mícháním získávají typové (tzv. obchodní) mouky. Získaná obchodní mouka musí mít vyrovnaný obsah lepku a popelovin, tj. nejjakostnější mouky s vysokým obsahem lepku musí být smíchány s moukami s nízkým obsahem lepku apod. [2]. Takto získané mouky musí mít ve všech místech stejný vzhled, barvu, vlhkost, zrnitost, stejné pekařské vlastnosti a stejný obsah popela [49].

## 2.4 Skladování a dozrávání mouk

Čerstvě semletá mouka nemá vhodné pekařské vlastnosti. Získává je během skladování, protože dochází k tzv. dozrávání mouky. Během dozrávání nastává oxidace bílkovin a enzymové odbourávání moučných tuků. Tyto biochemické změny se projevují zvýšením vaznosti mouky a zlepšením jakosti lepku, protože lepek ztrácí svoji tažnost, zvyšuje pevnost, pružnost a bobtnavost. K těmto změnám dochází u žitné mouky během 7–10 dnů a u pšeničné během 14–21 dnů [3].

Na průběh biochemických procesů během skladování mouky má vliv vlhkost, teplota a přístup vzduchu. Proto by se měla mouka skladovat v suchých skladech s optimální vlhkostí vzduchu 55,0–70,0 % a při teplotě 15–18 °C. Dále je nezbytný přístup vzduchu, proto při delším skladování musí být mouka provzdušňována [50].

Během zrání dochází k ustálení rovnovážné vlhkosti mouky na předepsaných 14,0–15,0 %. Má-li mouka nižší vlhkost, zrání se zpomaluje, naopak při vyšší vlhkosti může nastat její plesnivění [45]. Při dlouhodobém skladování se rovnovážná vlhkost mouky snižuje. Tento jev je způsoben stárnutím koloidních látek, protože ztrácejí schopnost vázat vodu. Např. čerstvě semletá mouka má rovnovážnou vlhkost 13,3 % při relativní vlhkosti vzduchu 60,0 %. Po 12 měsících skladování za stejných podmínek se sníží rovnovážná vlhkost na 12,0 % [49].

Skladováním mouky při vysoké teplotě a vlhkosti dochází působením lipolytických enzymů a oxidačních procesů k rozkladu tuku za vzniku glycerolu a mastných kyselin, čímž se zvýší kyselost mouky. Následnou oxidací nenasycených mastných kyselin vzdušným kyslíkem nebo působením enzymu lipoxygenáza nastává hořknutí mouky,

protože vznikající aldehydy a ketony udělují mouce hořkou chuť. Skladování mouky ovlivňuje ve významné míře i vlastnosti škrobu. Škrob se stává odolnějším vůči rozkladným účinkům amylolytických enzymů a mazovatí při vyšší teplotě (tzv. stárne). Také mouka mění svoji barvu (dochází k vybělení mouky), protože vlivem vzdušného kyslíku dochází k oxidaci karotenových barviv.

Před vlastním zpracováním se mouka přehřívá, a to minimálně na teplotu 20 °C po dobu 24 h a následně se prosévá [2].

## 2.5 Srovnání vlastností pšeničné mouky s žitnou

Pšeničná mouka má zcela jiné smyslové i pekařské vlastnosti než mouka žitná.

Barevný odstín mouky je ovlivněn její granulací, při jemnějším rozemletí je mouka relativně světlejší. Mouka pšeničná méně vymletá je charakteristická krémovou barvou, která se stoupajícím stupněm vymletí přechází ve žlutou až žlutooranžovou. Zatímco žitná mouka je bělošedá s mírným zbarvením do zelena a se stoupajícím stupněm vymletí může mít barvu světle šedou se zeleným nádechem [12].

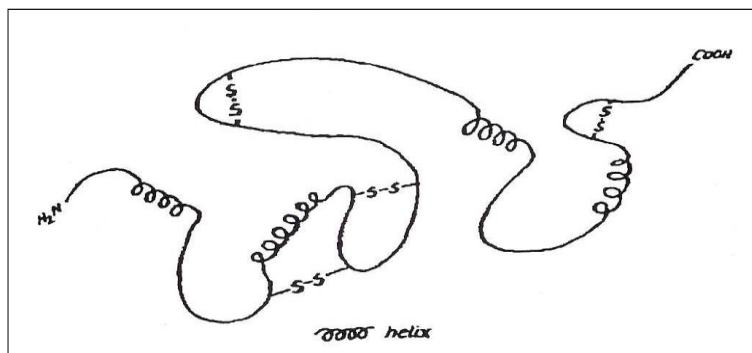
Rozdílné pekařské vlastnosti jsou způsobeny rozdílným chemickým složením mouky (Tab. 2). Těsto připravené z mouky pšeničné je soudržné, plastické, pružné a tažné. Zatímco těsto z žitné mouky je méně soudržné, roztékavé a obtížněji tvarovatelné [51].

Tab. 2 Procentuální obsah jednotlivých složek v sušině [12]

<b>Složka</b>	<b><i>Mouka pšeničná</i></b>	<b><i>Mouka žitná</i></b>
<b><i>Škrob</i></b>	75,0–79,0	69,0–81,0
<b><i>Bílkoviny</i></b>	10,0–12,0	8,0–10,0
<b><i>Tuk</i></b>	1,1–1,9	0,7–1,4
<b><i>Zkvasitelné cukry</i></b>	2,0–5,0	5,0–8,0
<b><i>Vláknina</i></b>	0,1–1,0	0,1–0,9
<b><i>Slizy</i></b>	2,5–3,4	3,5–5,2
<b><i>Popeloviny</i></b>	0,4–1,7	0,5–1,7

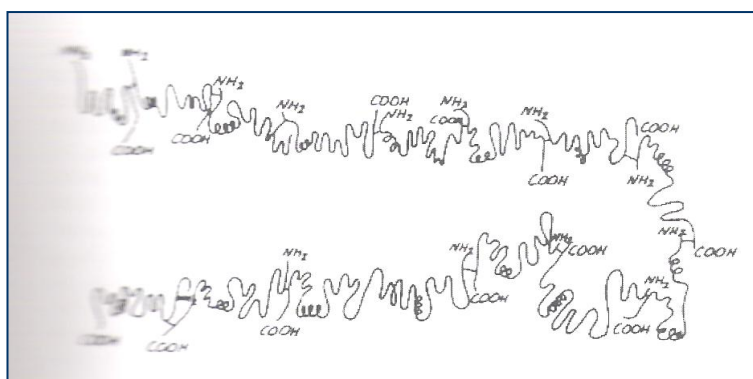
Hlavní rozdíly mezi moukami z pekařského hlediska jsou v bílkovinách. Pšeničná mouka je charakteristická vysokým obsahem ve vodě nerozpustných a silně bobtnajících bílkovin (gliadin a glutenin) [10].

**Gliadin (prolamin) pšenice** je tvořen jedním polypeptidovým řetězcem, který je tvořen úseky helixů a náhodnými ohyby. Helixy jsou udržovány vodíkovými vazbami. Ohyby řetězce jsou drženy pevnými disulfidickými vazbami, které může vytvářet aminokyselina cystein [52]. Schéma struktury gliadinu uvádí Obr. 5.



Obr. 5. Struktura gliadinu [3]

**Glutenin (glutelin) pšenice** je složitý komplex, který je tvořen mnoha nízkomolekulárními řetězci různé velikosti, které jsou uvnitř gluteninu udržovány disulfidickými a vodíkovými vazbami, ale navenek jsou spojeny vodíkovými vazbami s ostatními řetězci a udržovány hydrofóbními silami. Vysokomolekulární složky mají dva druhy disulfidických vazeb, a to intrařetězcové podobně jako gliadin a interřetězcové, které udržují pevnou a pružnou strukturu [3]. Schéma struktury gluteninu znázorňuje Obr. 6.



Obr. 6. Struktura gluteninu [3]

Pšeničné gliadiny a gluteniny (tzv. prolamin a glutelin) jsou zásobní proteiny obsažené v endospermu. Tyto dvě jednoduché bílkoviny jsou nerozpustné ve vodě, bobtnají pouze omezeně a během hnětení za přítomnosti vzdušného kyslíku tvoří tažnou hmotu, tzv. lepek.



Lepek tvoří 43,0–57,0 % gliadinu, 33,0–39,0 % gluteninu, 4,0–5,0 % tuku a 8,0–10,0 % ostatních látek [12].

Lepek lze z těsta izolovat vypíráním proudem vody, přičemž se vyplavuje škrob a látky rozpustné ve vodě. Obsah mokrého lepku kolísá mezi 15,0–40,0 % [52]. Lepek během bobtnání v těstě poutá přibližně 200 % vody a v průběhu zrání je odbouráván hydrolytickými enzymy – proteinázami [10]. Lepek je příčinou jedinečných vlastností pšeničného těsta, jeho tažnosti a pružnosti [1]. Tyto jeho vlastnosti a především množství lepku má vliv na jakost výrobků, které jsou vyrobeny z pšeničné mouky. Pšeničné pečivo má větší objem, pórovitost a lépe drží tvar, protože v těstě vytváří souvislou síťovinu z bobtnalých vláken, která jsou schopna se napínat kypřícími plyny [10].

Mletí žitné mouky probíhá za jiných podmínek než u pšeničné mouky, a proto se pravděpodobně v žitné mouce vyskytuje vyšší podíl poškozeného škrobu, který dříve mazovatel. Žitný škrob má ve srovnání s pšeničným více amylopektinu a méně amylozy, která zpětně retrograduje a je hlavní příčinou tvrdnutí pšeničného pečiva, čímž lze vysvětlit pomalejší tvrdnutí žitného chleba [3]. Dále se v žitné mouce vyskytuje menší množství lepkových bílkovin, než v mouce pšeničné. Žitné bílkoviny nemohou v těstě vytvořit souvislou zbobtnalou síťovinu jako pšeničný lepek, protože ihned po zadělání těsta vzniká komplex bílkovin se slizy [10].

Dále se pšeničná a žitná mouka liší obsahem cukrů. Žitná mouka obsahuje více zkvasitelných cukrů než mouka pšeničná. Také obsahuje více slizovitých polysacharidů (pentosanů), které vážou velké množství vody v těstě, a proto žitné pečivo pomaleji vysychá [50].

### 3 HODNOCENÍ TECHNOLOGICKÉ JAKOSTI PŠENIČNÉ MOUKY

Pekařsko-technologickou jakost pšeničné mouky ovlivňuje schopnost tvorby plynu, množství a kvalita lepku, množství a kvalita bílkovin, barva mouky, granulace mouky a její vaznost.

#### 3.1 Schopnost tvorby plynu

Cukrotvornou schopnost mouky a schopnost vytvořit dostatečné množství kypřícího plynu ( $\text{CO}_2$ ) ovlivňují amylolytické enzymy [53]. Působením dostatečně aktivních amylolytických enzymů vznikají v těstě zkvasitelné cukry, které jsou důležité pro správný průběh fermentace. Správný průběh fermentace se projevuje stabilní produkcí dostatečného objemu oxidu uhličitého od vyhnětení až po dosažení určité teploty během pečení. Během pečení se uplatňuje schopnost zmazovatělého škrobu vázat velké množství vody a zajišťovat vláchnou střídku pečiva. Uvedené skutečnosti ovlivňují objem, tvar a sensorické vlastnosti cereálních výrobků. Aktivitu přítomných amyláz a stupeň poškození škrobu popisuje stav sacharido-amylázového komplexu [54].

Enzymatická aktivita zrna je charakterizována číslem poklesu (Falling Number), které slouží jako kritérium pro odhalování poškození endospermu pšeničného zrna hydrolytickými enzymy. Závisí na činnosti  $\alpha$ -amylázy, která svojí činností způsobuje snížení viskozity suspenze šrotu [45].

Hodnotu čísla poklesu významně ovlivňuje teplota a srážky v červenci. V tomhle ročním období se dotváří výnosotvorné prvky porostu a determinují se parametry potravinářské kvality. Vydatné srážky ve sklizňové zralosti vedou k porůstání zrna a následnému snížení čísla poklesu [55]. Nízké ČP snižuje pekařskou kvalitu zeslabením pružnosti střídy pečiva a snižuje schopnost těsta vázat vodu. Takové těsto je obvykle lepkavé, těžko zpracovatelné a může mít poškozenou i strukturu lepku [45]. Podle ČSN 461100-2:2001 je pro potravinářskou pšenici určena minimální hodnota čísla poklesu 220s. V praxi jsou optimální hodnoty čísla poklesu v rozmezí 220 – 250 s.

Zrno s číslem poklesu nižším než 220 s se vyznačuje vysokou aktivitou amylolytických enzymů a je často porostlé. Zrno s číslem poklesu vyšším než 250 s se vyznačuje nízkou aktivitou amylolytických enzymů a před zpracováním se zvyšuje přidavkem sladu nebo jiné  $\alpha$ -amylázy [55]. Druhou možností úpravy čísla poklesu spočívá v míchání obilí s různým ukazatelem čísla poklesu, pomocí speciálních nomogramů. Třetí možností pro

zvýšení hodnoty, je intenzivní míchání a odírání zrna. Enzymatická aktivita zrna se v počátečním stádiu porůstání soustřeďuje v oblasti klíčku a v povrchových vrstvách. Pokud se tyto vrstvy odstraní před mletím, je většina mouky jakostně vyhovující. K ovlivnění důsledků porůstání je potřeba velmi intenzivního odstranění oplodí, osemení a části aleuronové vrstvy. Intenzivní oloupání a obroušení zrna lze dosáhnout technologií debranningu [54].

### 3.2 Pekařská síla mouky

Pekařská síla mouky, tzn. schopnost těsta zadržovat kypřicí plyn, který vzniká v těstě při kynutí, souvisí s množstvím a kvalitou lepku. Pekařská síla je ovlivňována genetickými vlastnostmi odrůdy pšenice a podmínkami jejího pěstování [53].

#### ▪ Hodnocení obsahu mokrého lepku

Obsah mokrého lepku má vliv především na objem hotového pšeničného pečiva [56]. Mokvý lepek je podíl pšeničných bílkovin nerozpustných ve vodě a je získáván vypíráním těsta [12]. Obsah mokrého lepku kolísá mezi 15,0–40,0 % [52]. Jeho stanovením lze odhalit zhoršenou kvalitu lepku [54]. Tradičním ukazatelem kvality lepku je jeho pružnost, tažnost a bobtnavost.

#### ▪ Hodnocení kvality mokrého lepku

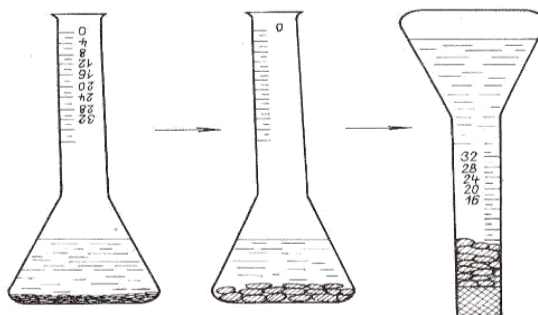
**Pružnost lepku** byla tradičně posuzována dle schopnosti lepku vrátit se po natažení do původní polohy. Obsahuje-li mouka lepek s dostatečnou pružností, chléb nebo pečivo s pórovitou střídou o velkém objemu se vypéká. Současně by měl být lepek tažný, aby se pečivo pod tlakem kvasných plynů zdvihalo a tvořila se jemná pravidelná pórovitost, která je důležitá pro charakter střídy. Lepek nedostatečně pružný dává těsto roztékavé, poskytující pečivo s nízkou střídou [5].

**Tažnost lepku** byla tradičně charakterizována jako schopnost lepku odolávat jeho natahování. Její číselná hodnota udává délku lepku, při které došlo k jeho přetržení (Tab. 3) [12]. Z mokrého lepku se vytvoří váleček o výšce 3 cm a vytahuje se na navlhčeném pravítku, dokud nezačnou praskat povrchová vlákna [57].

Tab. 3 Hodnocení tažnosti lepku [12]

<i>Tažnost lepku (cm)</i>	<i>Vlastnosti lepku</i>
pod 5	Velmi krátký, velmi málo tažný
5–8	Krátký, málo tažný
9–11	Středně tažný
12–15	Tažný
Nad 15	Velmi tažný

**Bobtnavost lepku** je podmíněna fyzikálními vlastnostmi bílkovin zvětšovat svůj objem v slabé kyselině mléčné [5]. Stanovovala se tradičně ve speciálních bobtnacích (Berlinerových) baňkách s kalibrovaným hrdlem. Optimální teplota pro stanovení je 27 °C. Bobtnání probíhá po dobu 150 min. Po uplynutí předepsané doby se baňka uzavře zátkou tak, aby zátka dosahovala k nule na stupnici hrdla baňky. Baňka se otočí dnem vzhůru a po usazení zbobtnalého lepku v hrdle se odečte objem lepku (Obr. 7), a ten udává přímo jeho bobtnavost (Tab. 4).



Obr. 7 Stanovení bobtnavosti lepku [57]

Tab. 4 Hodnocení bobtnavosti lepku [57]

<i>Bobtnací číslo cm<sup>3</sup></i>	<i>Hodnocení lepku</i>
0–5	Podřadný lepek
6–15	Středně kvalitní lepek
Nad 15	Dobrý lepek

Lepek by neměl být příliš pružný ani tažný. Lepek příliš pružný vytváří klenuté pečivo malého objemu. Je-li lepek naopak příliš tažný, vzniká pečivo nevykynuté a nízké. Lepek, který velmi brzy peptizuje v slabém roztoku kyseliny mléčné, je lepek slabý a výrobky z takové mouky jsou nízké a roztékavé. Pšeničné mouky namleté z pšenic brzy po sklizni jsou charakteristické velmi tažným, ale málo pružným lepem. Z toho důvodu se v prvních dvou měsících po žních semílá nové obilí s přidavkem obilí z loňské sklizně [5].

V současné době slouží ke zjišťování kvality mokrého lepku na základě průchodu jemným sítkem v odstředivce **metoda GI**, čímž se zjistí tzv. lepkový index (Gluten Index). Ten udává procento zbylého lepku na sítku k celkovému množství lepku [52]. Tento ukazatel je spolehlivým ukazatelem pekařské kvality. Nejlepší pekařské vlastnosti vykazují mouky s lepkovým indexem v rozmezí 82,0–92,0 %. Mouky s lepkovým indexem okolo 100 % a mírně pod 82,0 % vykazují z pekařského hlediska horší objemy. Hodnoty GI okolo 60,0 a 40,0 % svědčí o velmi špatné kvalitě [58].

### 3.3 Sedimentační test podle Zelenyho

Pro hodnocení jakosti potravinářské pšenice a pšeničné mouky na základě množství a kvality bílkovin se od 1. 7. 2002 používá Zelenyho test [52]. Pozitivně koreluje s obsahem bílkoviny a objemem pečiva [45].

Tento test je založen na sedimentaci částic mouky. Principem těchto testů je větší rychlost sedimentace částic mouky s vyšším podílem kvalitnějších bílkovin, než u mouk pekařsky slabších. Jako ukazatel kvality lepkové bílkoviny slouží objem sedimentu o přesné hustotě, získaný za standardní čas [35]. Zelenyho test hodnotí objem sedimentu získaný ze suspenze mouky, kyseliny mléčné a izopropanolu. Dříve používaný SDS-test hodnotil objem sedimentu získaný ze suspenze šrotu a kyseliny octové [15].

### 3.4 Metody pokusného pečení (Pekařský pokus)

Metody pokusného pečení umožňují nejlépe posoudit pekařské vlastnosti mouky, přičemž se zjistí struktura a barva střídy, její pórovitost, poměr výšky k průměru a jakost kůrky pečiva [5].

K nejrozšířenějším metodám pokusného pečení v ČR patří metoda VÚMPP Praha, jelikož je odvozena z technických postupů v pekárnách. Byla vypracována v osmdesátých letech na VÚ MPP Praha a nyní se používá pro hodnocení jakosti hladké světlé mouky pro

pekárny. Výrobky jsou obvykle hodnoceny podle měrného objemu, tvaru, charakteru kůrky a střídy [52]. Při vyjadřování výsledků pokusného pečení se používají především ukazatele objemu výrobku (Tab. 5). Měrný objem se nejčastěji vyjadřuje v  $\text{cm}^3$  na 100 g výrobku [15]. Dále lze vyjádřit objem pečiva na 100 g mouky–tzv. objemová vydatnost [52].

Tab. 5 Stupnice jakosti pšeničné hladké mouky [57]

<i>Objem výrobku</i>	<i>Vlastnosti mouky</i>
do 400 $\text{cm}^3$	mouka velmi špatné jakosti
401 až 480 $\text{cm}^3$	mouka uspokojivé jakosti
481 až 600 $\text{cm}^3$	mouka normální a dobré jakosti
nad 601 $\text{cm}^3$	mouka velmi dobré jakosti

### 3.5 Barva mouky

Barva mouky je závislá na stupni vymletí, použitých přísadách a také na původní barvě pšenice. Obecně platí, že výše vymletá mouka, s větším podílem obvodových partií zrna je tmavší. Barvu nebo barevný odstín střídy pečiva výrazně ovlivňují přísady celozrnných mouk nebo šrotů, případně i šrotové produkty z jiných obilovin, luštěnin a zrnin [3].

Mouka svým našedlým odstínem může poukazovat na mouku s vyšším podílem poškozeného škrobu a s horší pekařskou zpracovatelností (tzv. zadní mouka). Barvu mouky ovlivňuje také původní barva pšenice, která může být od světle žluté až po načervenalou. V zahraničí se v minulosti, a někde i v současné době, mouky bělily chemicky. V ČR bylo bělení po 1. světové válce zakázáno [23].

Mouky pšeničné jsou charakteristické barvou bílou s nažloutlým odstínem. Chlebová pšeničná mouka se vyznačuje barvou bílou se žlutošedým nebo našedlým odstínem a celozrnná pšeničná mouka s hnědavým, načervenalým nebo tmavočerveným odstínem [59].

### 3.6 Granulace mouky

Granulace mouky (tzv. velikost moučných granulí) závisí na způsobu mletí zrna a vyjadřuje velikost podílu částic, které propadají sítem o stanovené velikosti ok [59]. Hrubší mouky jsou zpracovány mlecími válci šetrněji, obsahují méně narušených škrobových zrn, a proto se vyznačují menší enzymovou aktivitou. Tyto mouky pomaleji bobtnají, ale dávají

pevnější těsta s větší stabilitou. Jsou vhodné na výrobu těstovin. Jemněji granulované (hladké) mouky procházejí větším počtem mlecích válců [57]. Hladké mouky se zpracovávají převážně v pekárnách [3].

Semílání na jemné granule ovlivňuje stupeň poškození škrobu. Čím intenzivnější je vymílání mouky, tím více škrobu je poškozeno. Poškozený škrob snadněji podléhá působení amylolytických enzymů, je rychleji hydrolyzován na zkvasitelné cukry a rychleji mazovatí. Při velkém rozsahu poškození škrobu vzniklé nízkomolekulární sacharidy a dextriny způsobí lepivost a obtížnou zpracovatelnost těsta [23].

Požadavky na velikost podílu částic, které propadají sítím o stanovené velikosti ok, u jednotlivých typů mouk uvádí vyhláška Ministerstva zemědělství č. 333/1997 (Tab. 6) [59].

Tab. 6 Dělení mouk podle granulace [59]

<i>Podskupina</i>	<i>Granulace (<math>\mu\text{m}/\%</math>)</i>
<i>Mouky hladké</i>	
Pšeničná světlá	257/nejméně 96–162/nejméně 75
Pšeničná polosvětlá	257/nejméně 96–162/nejméně 75
Pšeničná chlebová	257/nejméně 96–162/nejméně 75
<i>Mouky polohrubé</i>	366/nejméně 96–162/nejvýše 75
<i>Mouky hrubé</i>	485/nejméně 96–162/nejvýše 15
<i>Mouky celozrnné pšeničné</i>	2800/nejméně 96

### 3.7 Obsah popele

Obsah popele souvisí s technologií výroby mouky [45]. Čím vyšší je stupeň vymletí, tím větší je podíl obalových částí, které se do mouky dostanou, což má za následek vyšší obsah popela v mouce. Je v korelaci s tvrdostí zrna a vyjadřuje se v procentech vůči původní hmotnosti zrna [3].

### 3.8 Hodnocení reologických vlastností

Jakost pšeničné mouky se projevuje ve fyzikálních vlastnostech těsta, které se hodnotí na přístroji farinografu [5]. Farinograf je nejznámější a nejrozšířenější přístroj k testování kvality mouky [52]. Farinografickou zkouškou se stanovuje vaznost pšeničné mouky a

vlastnosti těsta. Farinografickou vaznost ovlivňuje především obsah bílkovin. Čím je mouka jemnější, tím má větší povrch a také větší schopnost vázat více vody [60]. Dále je pravděpodobné, že pšeničná mouka s kvalitnější bílkovinou má vyšší vaznost, delší dobu vývinu a větší stabilitu konzistence při hnětení [52]. Vazností se rozumí množství vody (v ml nebo v %), které je mouka schopna přijmout při zadělávání na těsto. S vazností mouky souvisí výtěžnost těsta a pečiva, konzistence, stabilita, pružnost a tažnost těsta [57].



## 4 POŽADAVKY NA KVALITU PŠENIČNÉ MOUKY

Pro spotřebu obyvatel ČR je zapotřebí jen 1,2 mil. tun kvalitní potravinářské pšenice (pekárenské, pečivářenské a těstářenské), z níž se 70,0 % spotřebovává v pekárnách na výrobu chleba a pečiva, 12,0 % se spotřebovává v domácnostech a zbytek se používá na výrobu ostatních cereálních výrobků [61].

### 4.1 Požadavky na pšeničnou mouku pro pečivářenské účely

Požadavky na technologickou jakost odrůdy pšenice pro pečivářenské využití jsou zcela odlišné od požadavků na pšenicu pro pekárenské využití. Zásadní rozdíl v surovině pro pekařské účely (tzn. kynuté výrobky) a v surovině pro pečivářenské účely je v tom, že se zde nežadá velký objem výroby. A proto lze k pečivářským účelům použít pekařsky slabé mouky s nižším obsahem bílkovin a mokrého lepku, bez mechanického či enzymatického poškození škrobu a bílkovin.

Jakostní parametry pšeničného zrna pro pečivářenské využití

- obsah bílkovin max. 11,5 %
- hodnota Zeleného testu max. 25 ml
- číslo poklesu 220 s [58].

K dominantním druhům trvanlivého pečiva patří sušenky a oplatky. Dalšími významnými skupinami trvanlivého pečiva jsou perníky, pečivo ze šlehaných hmot (dětské piškoty, kokosky), suchary a preclíky [2]. Pro výrobu sušenek, oplatek a výrobků ze šlehaných hmot je požadovaná pšeničná mouka hladká slabá, s tažným a méně pružným lepkem. Pečivářská mouka musí obsahovat 22,0–28,0 % lepku a 7,0–8,0 % bílkovin [3]. Hlavní rozdíl oproti běžnému pšeničnému pečivu spočívá v tom, že při menším množství vody proběhne v sušenkovém těstě denaturace lepkových bílkovin i mazovatění škrobu v omezené míře, což má za následek méně pevnou stavební strukturu výrobku. Je-li při výrobě oplatek použita mouka s vyšším obsahem silného a pevného lepku, oplatky jsou příliš tvrdé a při kousání ostré. Při použití mouky s narušeným lepkem (termicky nebo enzymově), budou sice oplatky křehké, ale budou drobné a neudrží tvar. Pro výrobu oplatek lze použít i mouku s vysokou amylolytickou aktivitou, těsto však musí být rychle zpracováno.

Požadavky na mouku v případě výroby perníků, sucharů, preclíků a tyčinek jsou podobné jako u běžného pečiva, tj. pekařsky silné mouky [35]. Pekařsky silné mouky se vyznačují silným a pružným lepkem (30,0–36,0 %) [3].

## 4.2 Požadavky na pšeničnou mouku pro pekárenské účely

Pekárenská výroba (tj. výroba kynutého pečiva), zpracovává mouku vymletou ze zralého zrna pšenice obecné (*Triticum aestivum*). Pekárenská kvalita pšeničné mouky je ovlivňována fyzikálními a chemickými vlastnostmi zrna. Sledované parametry a jejich hodnoty, které jsou požadovány u suroviny určené k pekárenskému zpracování upravuje ČSN 46 1100-2:2001.

Jakostní parametry pšeničného zrna pro pekárenské využití:

- vlhkost max. 14,0 %;
- objemová hmotnost min. 760 g.l<sup>-1</sup>;
- číslo poklesu min. 220 s;
- obsah dusíkatých látek min. 11,5 %;
- sedimentační index dle Zelenyho min. 30 ml;
- obsah příměsí a nečistot max. 6,0 %;
- z toho obsah nečistot max. 0,5 %;

Pro pekárenskou výrobu je požadována pekařsky silná pšenice s pevným a pružným lepkem v těstě [62]. Základním typem pšeničné mouky pro pekárenskou výrobu v ČR je hladká mouka T 530 s obsahem popela v sušině max. 0,6 %. Dále se rozsáhle používají mouky pšeničné chlebové T 700 (tzv. chlebová světlá) a T 1050 nebo T 1000 (tzv. chlebová tmavá) [58]. Mouka musí být jakostně vyrovnaná, s vysokou vazností vody a dobrými vlastnostmi pro přípravu těsta. Těsto nesmí být lepivé a musí být strojově dobře zpracovatelné. Těsto by mělo dobře vykynout a při pečení zvětšovat svůj objem. Hotový výrobek by měl vykazovat standardní tvar, velký objem s dobrou parcelací kůrky, pružnou a rovnoměrně pórovitou střídku [63]. Dále musí mít mouka schopnost tmavnout. Tato schopnost je dána činností enzymu tyrozinázy, který oxiduje volný tyroxin na tmavě zbarvené produkty [35].

### 4.3 Požadavky na pšeničnou mouku pro těstářenské účely

Na výrobu kvalitních těstovin, čili těstovin s hladkým povrchem, průsvitných, dostatečně pevných, bez tmavých oček anebo světlých skvrn, syté žluté barvy s dobrými varnými vlastnostmi, s charakteristickou chutí a vůní je nejvhodnější hrubá pšeničná mouka (tzv. semolina) semletá ze sklovité tvrdé pšenice (*Triticum durum*). Vyznačuje se vysokým obsahem kvalitního lepku (min. 34,0 %) [21]. Optimální obsah mokrého lepku zajišťuje těsto pevné a vláčné, které se pomalu lisuje [35]. Zrno pšenice musí mít vysokou sklovitost, vysokou objemovou hmotnost a světle jantarovou barvu s tvrdým endospermem [21].

Poněvadž *Triticum durum* převážně dovážíme, používá se v ČR k výrobě těstovin polohrubá mouka těstářenská z pšenice obecné (*Triticum aestivum*) podobná semolině, nebo se používá směs mouk z pšenice tvrdé a obecné. Ale mouky semleté z pšenice obecné nejsou ideální surovinou pro výrobu těstovin, protože absorbují více vody než semolina, která má po hydrataci vyšší schopnost tento stav udržet. Tato schopnost semoliny je hlavním důvodem, proč se těstoviny vyrábí především z tvrdých pšenic. Důležitým faktorem sorpce vody je vyrovnaná granulace mouky, která ovlivňuje proces lisování a sušení. Jemné moučné částice absorbují při mísení převážné množství vody a podstatně zvlhnou více než hrubší částice. Důsledkem toho vzniká nekompaktní povrch těstovin a mramorová vnitřní struktura. Optimální vlhkost v semolině by měla činit 16,0 % [21].

## 5 CHARAKTERISTIKA VÍCEROZMĚRNÝCH DAT

### 5.1 Předúprava vícerozměrných dat

Předúprava dat je důležitým krokem ve vícerozměrné analýze. V některých případech se provádí před vlastním použitím dané metody, v jiných případech tvoří součást metody, takže na vstupu mohou být i původní data.

#### 5.1.1 Standardizace dat

Standardizace dat tvoří obvykle první krok v předúpravě vícerozměrných dat a slouží k odstranění závislosti na jednotkách a na parametru polohy. Po provedené standardizaci je pomocí vah přiřazována znakům různá důležitost.

#### 5.1.2 Užití statistických vah

Statistické váhy lze použít ke zvýšení důležitosti některých znaků v následujících případech:

- Existují-li v měřených znacích rozličné nejistoty.
- Jsou-li známy zkušenosti o důležitosti znaků.
- Existují-li rozličné důležitosti znaků dle účelu analýzy dat.

### 5.2 Průzkumová analýza vícerozměrných dat

#### 5.2.1 Zobrazení vícerozměrných dat

Zdrojová matice dat  $X$  má rozměr  $n \times m$ . Před vlastní aplikací vhodné metody vícerozměrné analýzy je třeba vždy provést průzkumovou (exploratorní) analýzu dat, která umožňuje pomocí rozptylových a symbolových grafů posoudit podobnost objektů, nalézt vybočující objekty, stanovit, zda lze použít předpoklad lineárních vazeb a ověřit předpoklady o datech (normalitu, nekorelovanost, homogenitu).

Pro účely průzkumové analýzy vícerozměrných dat lze použít zobecněné rozptylové diagramy a symbolové grafy, které umožňují jejich grafické zobrazení ve dvourozměrném i třírozměrném souřadnicovém systému. Toto zobrazení umožňuje:

- Identifikovat vektory  $x_i$  nebo jejich složky, které se jeví jako vybočující.

- Identifikovat různé struktury v datech, jako jsou shluky, které zobrazují heterogenitu použitého výběru nebo přítomnost různých dílčích výběrů s odlišným chováním.

### ***Zobecněné rozptylové grafy***

Rozptylový diagram (graf) představuje pro dvě složky  $x_{i1}$  a  $x_{i2}$  závislost mezi znakem  $x_{i1}$  zakresleným na osu  $x$  a znakem  $x_{i2}$  umístěvaným na osu  $y$ . Z takto sestaveného grafu lze indikovat vybočující body, shluky bodů a míru párové závislosti mezi těmito složkami.

### ***Symbolové grafy***

Jednotlivé znaky jsou „kódovány“ do určitých geometrických tvarů či symbolů s ohledem na jejich konkrétní hodnoty. Každému objektu  $x_i$  odpovídá jistý obrazec složený z těchto symbolů. Vlastnosti dat se posuzují s ohledem na vizuální rozdíly mezi obrazci nebo symboly. Mezi základní typy symbolů patří profily, polygony, tváře, křivky a stromy.

## **5.3 Metody k odhalení struktury ve znacích a objektech**

Jednotlivé techniky k určení vzájemných vazeb se dělí podle toho, zda hledají strukturu a vazby ve znacích nebo strukturu a vazby v objektech.

- Hledání struktury ve znacích v metrické škále – *faktorová analýza (FA)*, *analýza hlavních komponent (PCA)* a *shluková analýza*
- Hledání struktury v objektech v metrické škále – *shluková analýza*
- Hledání struktury v objektech v metrické i v nemetrické škále – *vícerozměrné škálování*
- Hledání struktury v objektech v nemetrické škále – *korespondenční analýza*

Většina metod vícerozměrné statistické analýzy umožňuje zpracování lineárních vícerozměrných modelů, kde se závisle proměnné uvažují jako lineární kombinace nezávisle proměnných, resp. vazby mezi proměnnými jsou lineární.

Určením struktury a vzájemných vazeb mezi znaky, ale i mezi objekty se zabývají techniky redukce znaků na latentní proměnné, metoda analýzy hlavních komponent (PCA) a metoda faktorové analýzy (FA). Významnou metodou určení vzájemných vazeb mezi znaky je i kanonická korelační analýza (CA), která se využívá ke zkoumání závislosti mezi

dvěma skupinami znaků, přičemž jedna ze skupin je považována za proměnné nezávislé a druhá za skupinu proměnných závislých.

#### **5.4 Analýza hlavních komponent (PCA)**

Metoda hlavních komponent (PCA) je jedna z nejpoužívanějších a nejstarších metod vícerozměrné analýzy. Cílem této metody je transformace původních znaků  $x_i, j=1, \dots, m$ , do menšího počtu latentních proměnných  $y_j$ . Tyto latentní proměnné mají vhodnější vlastnosti. Je jich výrazně méně, znázorňují celou proměnlivost původních znaků a jsou vzájemně nekorelované. Základní charakteristikou každé hlavní komponenty je její míra variability (tzv. rozptyl). Hlavní komponenty jsou seřazeny podle důležitosti, tj. dle klesajícího rozptylu (od největšího k nejmenšímu). Nejvíce informací o variabilitě původních dat je soustředěno do první hlavní komponenty, nejméně do poslední komponenty.

#### **5.5 Analýza shluků (CLU)**

Metoda analýzy shluků (Cluster analysis, CLU) se zabývá vyšetřováním podobnosti vícerozměrných objektů (tj. objektů, u kterých je změřeno větší množství proměnných) a jejich klasifikací do tříd, čili shluků. Shluk (tzv. cluster) je skupina objektů, jejichž vzdálenost (nepodobnost) je menší než vzdálenost, kterou mají objekty do shluku nepatřící [64].

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 METODIKA PRÁCE

Cílem diplomové práce bylo stanovit obsah dusíkatých látek a rezistentního škrobu v jednotlivých vzorcích mouky a statisticky vyhodnotit mezi naměřenými daty a daty získanými z Penamu, a. s. možnou závislost.

### 6.1 Charakteristika analyzovaných vzorků

Pro stanovení bylo použito 50 vzorků mouky získaných od firmy Penam, a. s., jejichž charakteristika nebyla poskytnuta. S těmito vzorky byla dodána data s parametry (Tab. 7 ), která nejsou součástí práce.

Tab. 7 Parametry získané od firmy Penam, a. s.

Název parametru	Značka
Škrob	-
Rezistentní škrob	-
Vlhkost	-
Dusíkaté látky	N-I
Pevnost lepku	P
Tažnost lepku	L
Index nafouknutí	G
Pekařská síla	W
Konfigurační poměr křivky	P/L
Index elasticity	I <sub>e</sub>

### 6.2 Chemická analýza

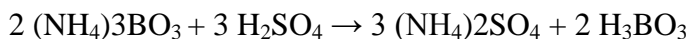
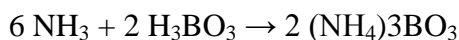
#### 6.2.1 Stanovení celkového obsahu dusíkatých látek

Celkový obsah dusíkatých látek byl analyzován u 50 vzorků mouky. Stanovení bylo provedeno metodou podle Kjeldahla s úpravou podle Winklera.

Z mineralizátu bílkovinného materiálu, připraveného podle Kjeldahla, byl amoniak, uvolněný ze síranu amonného koncentrovaným roztokem hydroxidu sodného předestilován vodní parou do roztoku kyseliny trihydrogenborité v destilačním přístroji. Vzniklý boritan



amonný byl stanoven titračně odměrným roztokem kyseliny sírové (HCl) na indikátor Tashiro.



Z množství spotřebované kyseliny byl vypočítán obsah dusíku. Výsledek byl přepočítán na navážku a vynásobením faktoru 5,7 byl určen v analyzovaném materiálu obsah dusíkatých látek v % [65].

#### ▪ Použité roztoky a chemikálie

Kyselina sírová, peroxid vodíku, směsný katalyzátor ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CuSO}_4$  v poměru 10:1), hydroxid sodný 30,0 %, kyselina boritá, směsný indikátor (bromkresolova zeleň + metylova červeň), kyselina chlorovodíková 0,1 mol.l<sup>-1</sup> a destilovaná voda.

#### ▪ Použité přístroje

Analytické váhy (Explorer, OHAUS), předvážky (Kern, KB), mineralizátor (Bloc Digest 12), automatická destilační jednotka pro stanovení organického dusíku podle Kjeldahla (Pro-Nitro 1430, BioProPraha, ČR).

#### ▪ Pracovní postup

Do mineralizační zkumavky bylo na analytických vahách naváženo 0,25 g vzorku mouky s přesností na čtyři desetinná místa. V digestoři bylo ke vzorku mouky aplikováno 10 ml koncentrované kyseliny sírové, čtyři kapky peroxidu vodíku a 1 malá lžička směsného katalyzátoru ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CuSO}_4$  v poměru 10:1). Baňka se vložila na topnou desku mineralizátoru. Teplota ohřevu byla nastavena na 400 °C. Po vyhřátí topného zařízení, které trvalo přibližně půl hodiny, probíhala mineralizace 1 hodinu. Po skončení mineralizace se zkumavky nechaly zchladnout. Po zchladnutí se zkumavky přesunuly do stojanu a doplnily destilovanou vodou na výsledný objem 25 ml.

Po mineralizaci v mineralizačním zařízení byl obsah dusíkatých látek stanoven metodou Kjeldahla s úpravou dle Winklera pomocí automatické destilační jednotky Pro-Nitro 1430. Stanovený obsah dusíku byl přepočítán na bílkovinu. Výsledkem byl průměr ze dvou provedených stanovení.

#### Výpočet

$$\% \text{ hrubé bílkoviny} = (P_2/n) \cdot 100. F$$

Kde  $P_2$  – obsah dusíku [mg]

n – navážka [mg]

F – přepočítávací faktor [5,7]

### 6.2.2 Stanovení obsahu škrobu

Rezistentní škrob byl stanoven na komerční soupravě Megazyme Resistant Starch Method (AOAC Method 2002.02) [66]. Metoda umožňuje měření rezistentního škrobu (RŠ), rozpustitelného škrobu a celkového škrobu ve vzorcích. Metoda je aplikovatelná na vzorky obsahující více než 2,0 % RŠ. S takovými vzorky se rutinně dosahuje standardní chyby  $\pm 5,0$  %.

#### ▪ Použité roztoky a chemikálie

- Pufr s maleátem sodným 0,1 M (pH 6)
- Pufr s acetátem sodným 1,2 M (pH 3,8)
- Pufr s acetátem sodným 100 mM (pH 4,5)
- Hydroxid draselný 2M
- Vodný IMS 50,0 % v/v
- Zásobní roztok amyloglukozidázy (AMG)
- Zředěný roztok amyloglukozidázy 300
- Pankreatická  $\alpha$ -amyláza (10 mg.ml<sup>-1</sup>) plus AMG (3 U.ml<sup>-1</sup>)
- Reagencie s glukózooxidázou-peroxidázou-aminoantipyrinem (GOPOD)
- Souprava kontrolních vzorků obsahujících RŠ – kukuřičný škrob (0,7 % RŠ; 13,6 % vlhkost), bramborový škrob (63,4 % RŠ; 12,3 % vlhkost)

### ▪ Použité přístroje

Třepající vodní lázeň, vortex mixér, pH metr (GRYF 209), analytická váha (EXPLORER, OHAUS), spektrofotometr (SPEKOL 11), odstředivka (EBA 20, SCHOELLER).

### ▪ Pracovní postup

#### Měření rezistentního škrobu

Do šroubovací zkumavky bylo naváženo na analytických vahách 0,1 g vzorku mouky a do každé zkumavky byly přidány 4,0 ml pankreatické amylázy ( $10 \text{ mg.ml}^{-1}$ ) obsahující AMG ( $3 \text{ U.ml}^{-1}$ ). Pevně uzavřené zkumavky byly promíchány na vortex mixéru a inkubovány v třepající se vodní lázni po dobu 16 h při  $37 \text{ }^\circ\text{C}$  v horizontální poloze za kontinuálního třepání  $200 \text{ úderů.min}^{-1}$ . Po inkubaci byly zkumavky ošetřeny 4,0 ml etanolu (99 %) za intenzivního míchání na vortex mixéru a následně odstředěny při 1500 g (přibl. 3000 rpm) po dobu 10 min. Po odlití supernatantů byly tablety obsahující rezistentní škrob resuspendovány ve 2 ml IMS za intenzivního míchání na vortex mixéru a po přidavku dalších 6 ml 50,0 % IMS byly zkumavky odstředěny při 1500 g po dobu 10 min. Supernatanty byly opět slity a tento suspendační a centrifugační krok byl opakován. Následně byly tablety resuspendovány pomocí 2 ml 2 M KOH po dobu 20 min za intenzivního míchání v ledové vodní lázni. Po vyjmutí zkumavek z vodní lázně bylo za intenzivního míchání do každé zkumavky přidáno 8 ml 1,2 M pufru s acetátem sodným (pH 3,8) a 0,1 ml AMG ( $3300 \text{ U.ml}^{-1}$ ). Zkumavky s promíchaným obsahem byly inkubovány po dobu 30 min za občasného míchání na vortex mixéru ve vodní lázni ( $50 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Zkumavky vyjmuté z vodní lázně byly odstředěny při 1500 g po dobu 10 min. Z odstředěných zkumavek bylo odpipetováno 0,1 ml alikvótních podílů do skleněných testovacích zkumavek, které byly ošetřeny 3,0 ml GOPOD reagencie a inkubovány ve vodní lázni při  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  po dobu 20 min. U každého roztoku byla měřena absorbance při 510 nm proti reagenčnímu slepému vzorku.

Slepé vzorky byly připraveny smícháním 0,1 ml 0,1 M pufru s acetátem sodným (pH 4,5) a 3,0 ml GOPOD reagencie.

Standardy glukózy byly připraveny ve čtyřnásobných kopiích smícháním 0,1 ml glukózy ( $1 \text{ mg.ml}^{-1}$ ) a 3,0 ml GOPOD reagencie.

**Měření nerezistentního (rozpustitelného) škrobu**

Roztoky supernatantů, získané odstředěním počáteční inkubace se supernatanty získanými z následných dvou promytí 50,0 % etanolem, byly přeneseny do 100ml odměrné baňky, která byla doplněna destilovanou vodou. 0,1 ml alikvótních podílů tohoto roztoku bylo inkubováno se 3,0 ml GOPOD reagentie po dobu 20 min při 50 °C. U každého roztoku byla měřena absorbance při 510 nm proti reagenčnímu slepému vzorku.

**Výpočet:**

Obsah rezistentního škrobu, nerezistentního (rozpustitelného) škrobu a celkový obsah škrobu (% v sušině) v testovaných vzorcích mouky byl vypočítán následovně:

**Rezistentní škrob (g/100 g vzorku pro vzorky obsahující < 10 % RŠ):**

$$= \Delta E \times F \times 10,3/0,1 \times 1/1000 \times 100/W \times 162/180$$

$$= \Delta E \times F/W \times 9,27$$

**Nerezistentní (rozpustitelný) škrob (g/100 g vzorku)**

$$= \Delta E \times F \times 100/0,1 \times 1/1000 \times 100/W \times 162/180$$

$$= \Delta E \times F/W \times 90$$

Kde:

$\Delta E$  = absorbance (reakce) odečtená proti slepému reagenčnímu vzorku

$F$  = konverze z absorbance na mikrogramy (absorbance získaná pro 100  $\mu\text{g}$  glukózy v GOPOD reakci je stanovena a  $F = 100$  ( $\mu\text{g}$  glukózy) děleno absorbancí GOPODu pro těchto 100  $\mu\text{g}$  glukózy).

$100/0,1$  = úprava objemu (0,1 ml odebráno ze 100 ml)

$1/1000$  = konverze z mikrogramů na miligramy

$W$  = hmotnost sušiny analyzovaného vzorku = hmotnost  $\times [(100\text{-obsah vlhkosti})/100]$

$100/W$  = faktor vyjadřující RŠ jako procento hmotnosti vzorku

$162/180$  = faktor konverze z volné glukózy na bezvodou glukózu (jak se vyskytuje ve škrobu)

$10,3/0,1$  = úprava objemu (0,1 ml odebráno z 10,3 ml) pro vzorky obsahující 0–10,0 % RŠ, kde inkubační roztok není zředěn a konečný objem je  $\sim 10,3$  ml [66].

**Celkový obsah škrobu** je součtem rezistentního a nerezistentního (rozpustitelného) škrobu.

### **6.3 Statistické vyhodnocení dat**

Pro analýzu dat byl aplikován program QC Expert, verze 3.0 [67], STATISTICA CZ, verze 9 [68]. Byl použit parametrický test srovnávající střední hodnoty dvou nezávislých výběrů a korelace. Pro zjištění struktur ve znacích byla použita analýza hlavních komponent a analýza shluková (Wardova metoda). Statistické vyhodnocení bylo provedeno na hladině významnosti 5,0 %.

## 7 VÝSLEDKY A DISKUZE

### 7.1 Stanovení obsahu dusíkatých látek

Celkový obsah dusíku byl stanoven Kjeldahlovou metodou s úpravou dle Winklera, pomocí automatické destilační jednotky Pro-Nitro. Průměrný obsah dusíkatých látek, u 50 vzorků mouky, činil 11,0 % (viz. Příloha 1). Nejnižší obsah dusíkatých látek byl zaznamenán u vzorku č. 16 (9,3 %) a nejvyšší u vzorku č. 3 (13,3 %). Podle literárního zdroje [69] by měla pšenice pro pekárenské využití obsahovat min. 11,5 % dusíkatých látek. Průměrná hodnota (11,0 %) získaná od padesáti vzorků tento požadavek nesplňuje. Požadavek na minimální obsah dusíkatých látek v mouce splňují vzorky č. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 12, 15 a 46. Obsah dusíkatých látek v pšenici ovlivňují především klimatické podmínky [45]. Nízký obsah dusíkatých látek by mohl mít negativní vliv na kvalitní ukazatele pšeničné mouky, a to na pekařskou sílu mouky a hodnotu Zelenyho testu. Pekařská síla mouky (tj. schopnost mouky zadržovat kypřící plyn) souvisí s obsahem a kvalitou lepku [53]. Zelenyho test je založen na principu rychlejší sedimentace částic mouky s vyšším podílem kvalitnějších bílkovin [15] a pozitivně koreluje s objemem pečiva [45]. Pšeničná mouka pro pekárenské účely by měla mít dle ČSN 461100-2:2001 hodnotu Zelenyho testu min. 30 ml [62] a mouka pro pečivářenské účely hodnotu Zelenyho testu max. 25 ml [58]. Nízký obsah dusíkatých látek, by mohl proto negativně ovlivnit tyto ukazatele jakosti pšeničné mouky a ovlivnit i kvalitu výsledného výrobku. Těsto získané z mouky s nízkým obsahem dusíkatých látek by mohlo být lepivé, strojově špatně zpracovatelné, nemohlo by vykynout a při pečení zvětšovat svůj objem. Proto je nevhodná pro pekárenské účely, ale lze ji použít k pečivářským účelům. Nízký obsah dusíkatých látek v mouce může být také ovlivněn vyšším obsahem škrobu, protože čím více je přítomného škrobu, tím méně prostoru zbývá pro dusíkaté látky.

### 7.2 Stanovení obsahu škrobu

Škrobnatost mouky byla stanovena enzymaticky využitím soupravy Megazyme [66]. Tato metoda umožňuje měření rezistentního škrobu, rozpustitelného škrobu a celkového škrobu ve vzorcích mouky. Touto metodou byl stanoven průměrný obsah rezistentního škrobu 4,9 % a průměrný obsah nerezistentního škrobu 66,0 % (viz. Příloha 1). Ze získaných údajů byl vypočítán průměrný celkový obsah škrobu (71,0 %). Požadavek na obsah škrobu splňují všechny stanovované vzorky mouky, protože dle literárního zdroje

[52] by se měl obsah škrobu v pšeničném zrně pohybovat v rozmezí 60,0–75,0 %. Jeho obsah v mouce, která je tvořena převážně endospermem je vyšší (75,0–80,0 %). Vyšší hodnoty celkového obsahu škrobu vykazují vzorky č. 9, 18, 22, 28, 32 a 45. Obsah škrobu v mouce úzce souvisí s granulací mouky. Lze usoudit, že se může jednat o mouky, které jsou tvořeny převážně endospermem (níže vymleté mouky), protože se stoupajícím stupněm vymletí klesá obsah škrobu. Takové mouky jsou vhodné pro pekařské zpracování, jelikož by měly vykazovat dle literárního zdroje [23] nižší stupeň poškození škrobu a nízkou aktivitu amylytických enzymů, které by mohly mít za následek lepivost a špatnou zpracovatelnost těsta.

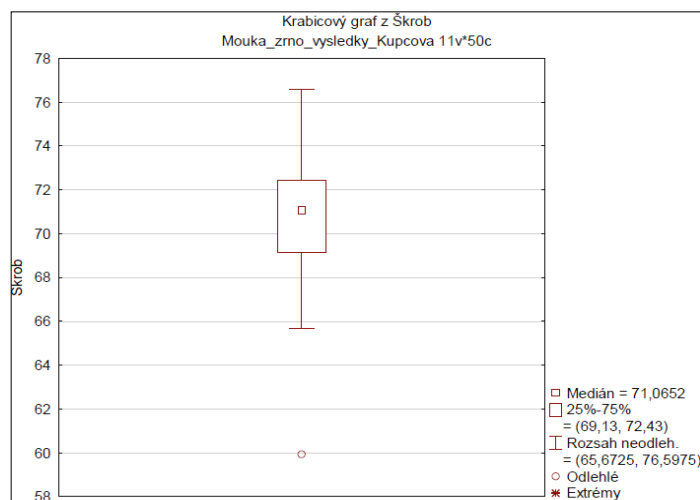
Statisticky bylo vyhodnocováno 10 parametrů u 50 vzorků mouky. A to obsah škrobu, rezistentního škrobu, vlhkost, dusíkaté látky (N-l), pevnost lepku (P), tažnost lepku (L), index nafouknutí (G), pekařská síla mouky (W), konfigurační poměr křivky (P/L) a index elasticity (Ie). Hodnoty obsahu škrobu, rezistentního škrobu a dusíkatých látek (N-l) byly získány chemickou analýzou v rámci diplomové práce. Ostatní hodnoty byly poskytnuty firmou Penam, a.s. (vždy se třemi opakováními, které splňovaly limity opakovatelnosti).

### 7.3 Exploratorní analýza dat

Průzkumová analýza vícerozměrných dat umožňuje identifikovat vektory nebo jejich složky, které se jeví jako vybočující. Dále indikovat vybočující hodnoty, struktury v datech jako shluky ukazující na heterogenitu výběru nebo přítomnost dílčích výběrů s odlišným chováním [64]. Bylo nutno nalézt vybočující objekty, resp. znaky, posoudit podobnost objektů pomocí rozptylových a symbolových grafů, stanovit, zda lze použít předpoklad lineárních vazeb a ověřit předpoklady o datech (normalitu, homogenitu a nekorelovatelnost).

Vybočující body byly identifikovány pomocí krabicového grafu, který poskytuje výhodné zobrazení odlehlých a extrémních hodnot. Extrémní hodnoty byly z výběru odstraněny, jelikož zkreslují výsledky analýzy a podle uvážení byly odstraněny i odlehlé body.

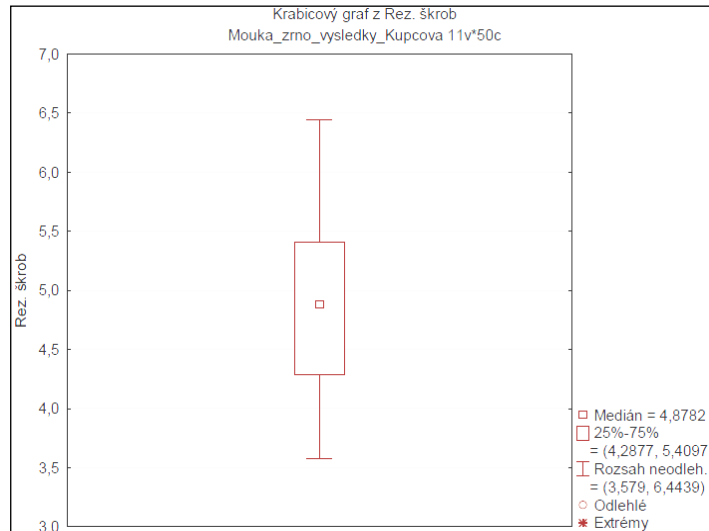
#### 7.3.1 Extrémy a odlehlé objekty



Obr. 8 Krabicový graf parametru škrob

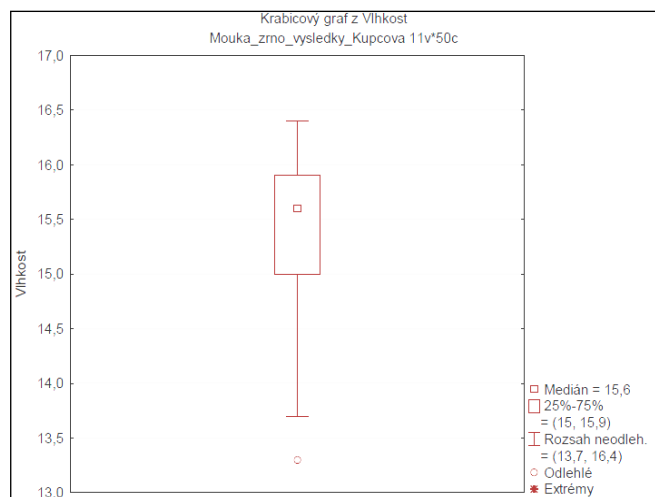


Z Obr. 8 vyplývá, že vzorek č. 7 byl vyhodnocen jako odlehlý objekt. Vzorek č. 7 vykazuje nízké hodnoty škrobu. V souvislosti s parametrem tažnost lepku a index nafouknutí byl z výběru odstraněn.



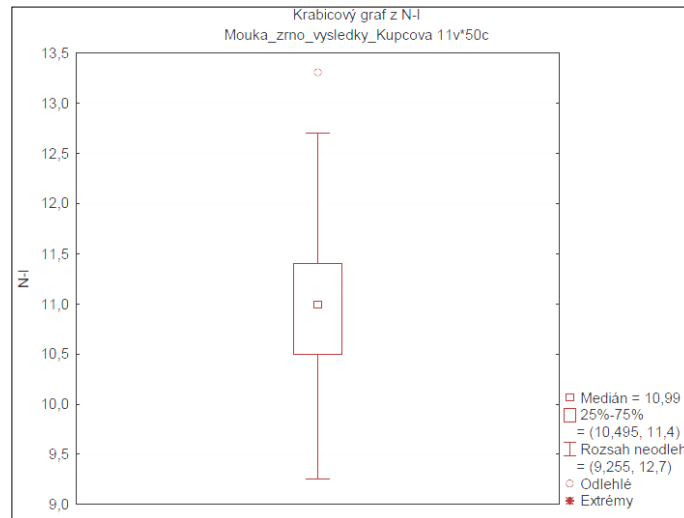
Obr. 9 Krabicový graf parametru rezistentní škrob

Z uvedeného krabicového grafu (Obr. 9) vyplývá, že parametr vyjadřující obsah rezistentního škrobu u 50 vzorků mouky neobsahuje žádné odlehlé nebo extrémní objekty, které by mohly zkreslovat výsledky analýzy.



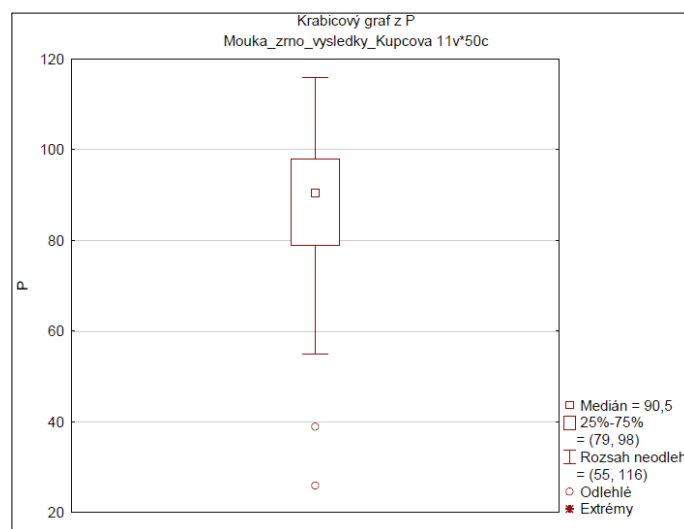
Obr. 10 Krabicový graf parametru vlhkost

Krabicový graf parametru vlhkost (Obr. 10) vykazuje pouze jeden odlehlý objekt (vzorek č. 14) s vybočujícími hodnotami obsahu vlhkosti. V souvislosti s parametrem pevnost a tažnost lepku byl vzorek č. 14 z výběru odstraněn.



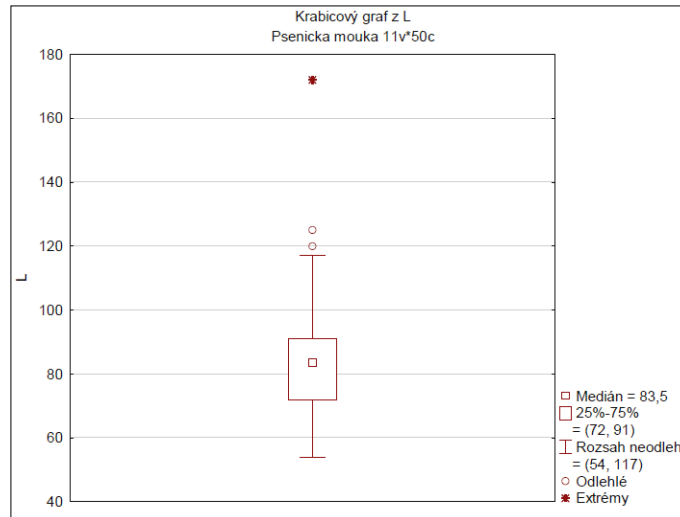
Obr. 11 Krabicový graf parametru dusíkaté látky

Vzorek mouky č. 3 byl vyhodnocen jako odlehlý. Tento odlehlý objekt vykazuje vysoké hodnoty dusíkatých látek (N-I), ale zůstává ve výběru ponechán, jelikož u ostatních parametrů vzorek výkyvy nevykazoval (Obr. 11) a zde se nejeví jako extrémní.



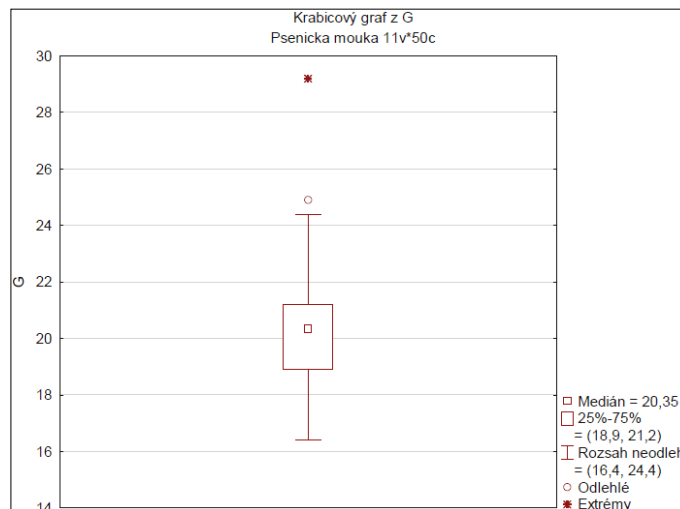
Obr. 12 Krabicový graf parametru pevnost lepku (P)

Odlehlé objekty (vzorek č. 14, 9) vykazují vybočující hodnoty pevnosti lepku. V souvislosti s parametrem tažnost lepku a pekařská síla byly z výběru odstraněny (Obr. 12).



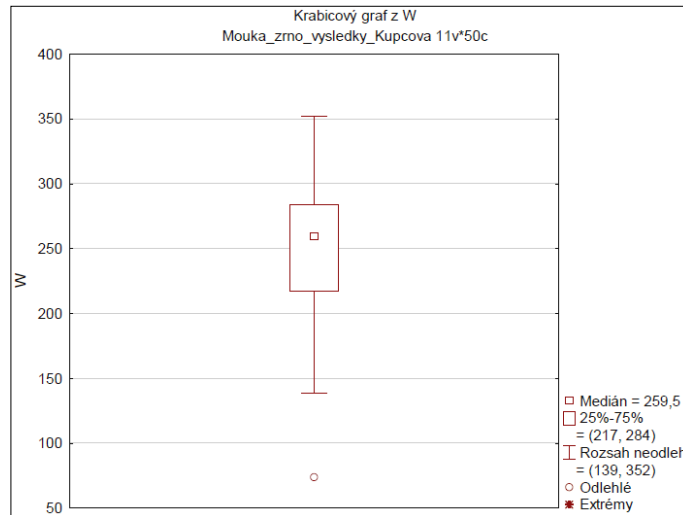
Obr. 13 Krabicový graf parametru tažnost lepku (L)

Z Obr. 13 vyplývá, že odlehlé objekty (vzorek č. 14, 8) vykazují vysoké hodnoty parametru tažnost lepku. Vzorek č. 14 byl z výběru odstraněn v souvislosti s parametry vlhkost a pevnost lepku. Vzorek č. 8 byl z výběru odstraněn v souvislosti s parametrem index nafouknutí. Extrémní objekt (vzorek č. 7) překročil hranici mezního stavu, a proto byl z výběru odstraněn.



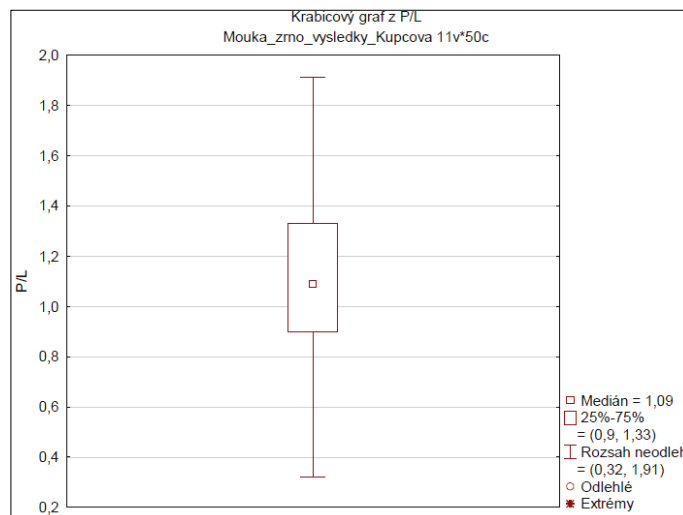
Obr. 14 Krabicový graf parametru indexu nafouknutí

Vzorek č. 8 vykazoval vysokou hodnotu parametru index nafouknutí (G), byl označen jako odlehlý objekt a v souvislosti s parametrem tažnost lepku byl z výběru odstraněn. Extrémní objekt (vzorek č. 7) překročil hranici mezního stavu, a proto byl z výběru odstraněn (Obr. 14).



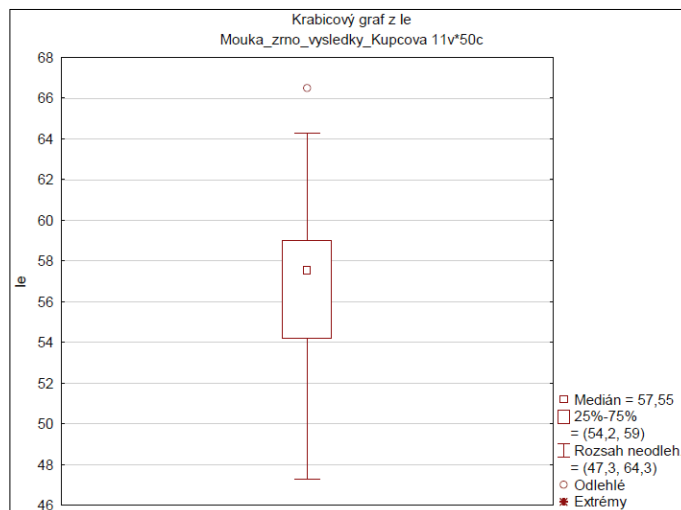
Obr. 15 Krabicový graf parametru pekařská síla (W)

Obr. 15 ukazuje na jeden odlehlý objekt (vzorek č. 9) s nízkou hodnotou W a v souvislosti s parametrem pevnost lepku byl z výběru odstraněn.



Obr. 16 Krabicový graf parametru konf. poměr křivky

Z uvedeného krabicového grafu (Obr. 16) vyplývá, že parametr konfigurační poměr křivky u 50 vzorků mouky neobsahuje žádné odlehlé nebo extrémní objekty, které by mohly zkreslovat výsledky analýzy.



Obr. 17 Krabicový graf parametru index elasticity (le)

Z Obr. 17 vyplývá, že vzorek č. 34 se ukazuje jako odlehlý objekt s vysokou hodnotou le, ale zůstává ve výběru ponechán, jelikož se jeho hodnota nacházela v blízkosti mezní hranice a u ostatních parametrů vzorek výkyvy nevykazoval.

### 7.3.2 Základní popisné statistiky

Tab. 8 popisuje množství platných objektů příslušného znaku, které jsou zahrnuty do modelu. Dále tabulka uvádí pro každý znak jeho průměrnou, minimální a maximální hodnotu, rozptyl, koeficient proměnlivosti a směrodatnou odchylku.

Tab. 8 Popisné statistiky

Proměnná	Popisné statistiky (Mouka_zmo_vysledky_Kupcova)							
	N platných	Průměr	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch.	Koef.prom.	Směrod. Chyba
Škrob	46	70,5830	65,6725	75,7117	6,721	2,59251	3,67300	0,382245
Rez. škrob	46	4,8750	3,5790	6,1213	0,513	0,71633	14,69403	0,105617
Vlhkost	46	15,4348	13,7000	16,4000	0,373	0,61036	3,95445	0,089993
N-I	46	11,0447	9,2550	13,3050	0,558	0,74695	6,76301	0,110132
P	46	89,8478	63,0000	116,0000	160,265	12,65959	14,09003	1,866555
L	46	82,2391	54,0000	117,0000	212,408	14,57423	17,72177	2,148853
G	46	20,1087	16,4000	24,1000	3,147	1,77411	8,82262	0,261579
W	46	258,4565	152,0000	352,0000	1930,831	43,94123	17,00140	6,478780
P/L	46	1,1324	0,5400	1,9100	0,075	0,27370	24,17013	0,040355
le	46	56,8630	47,3000	66,5000	19,043	4,36386	7,67433	0,643416

Tab. 9 Matice korelačních koeficientů znaků

Proměnná	Korelace (Psenicka mouka) Označ. korelace jsou významné na hlad. p < ,05000 N=46 (Celé případy vynechány u ChD)							
	Průměry	Sm.odch.	Škrob	Rez. škrob	Vlhkost	N-I	P	L
Škrob	70,5830	2,59251	1,000000	<b>-0,846733</b>	0,228549	-0,127538	<b>0,305893</b>	-0,121097
Rez. škrob	4,8750	0,71633	<b>-0,846733</b>	1,000000	-0,068541	0,152662	-0,173823	0,136667
Vlhkost	15,4348	0,61036	0,228549	-0,068541	1,000000	-0,199916	<b>0,355304</b>	-0,154091
N-I	11,0447	0,74695	-0,127538	0,152662	-0,199916	1,000000	-0,179783	<b>0,537403</b>
P	89,8478	12,65959	<b>0,305893</b>	-0,173823	<b>0,355304</b>	-0,179783	1,000000	-0,262726
L	82,2391	14,57423	-0,121097	0,136667	-0,154091	<b>0,537403</b>	-0,262726	1,000000
G	20,1087	1,77411	-0,111286	0,131546	-0,141887	<b>0,520670</b>	-0,245418	<b>0,998255</b>
W	258,4565	43,94123	0,157371	-0,066392	0,067669	0,244868	<b>0,589921</b>	<b>0,542950</b>
P/L	1,1324	0,27370	0,250966	-0,193518	0,276311	<b>-0,426427</b>	<b>0,711809</b>	<b>-0,829934</b>
le	56,8630	4,36386	0,024559	-0,065829	<b>-0,351420</b>	0,133053	-0,154850	<b>0,296998</b>

Tab. 9 znázorňuje korelační matice všech znaků. Červeně jsou znázorněny statisticky významné korelace na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

Z tabulky lze s 95,0 % průkazností usoudit, že rezistentní škrob významně negativně koreluje se škrobem. Dále je škrob ve vzájemné pozitivní korelaci s parametrem pevnost lepku (P). Dále lze z tabulky usuzovat, že vlhkost je ve vzájemné pozitivní korelaci s parametrem pevnost lepku (P) a negativní korelaci s parametrem index elasticity (le).

Statisticky významnou pozitivní korelaci vykazuje parametr dusíkaté látky (N-I) s tažností lepku (L) a parametrem index nafouknutí (G). S parametrem konfigurační poměr křivky (P/L) je ve vzájemné negativní korelaci.

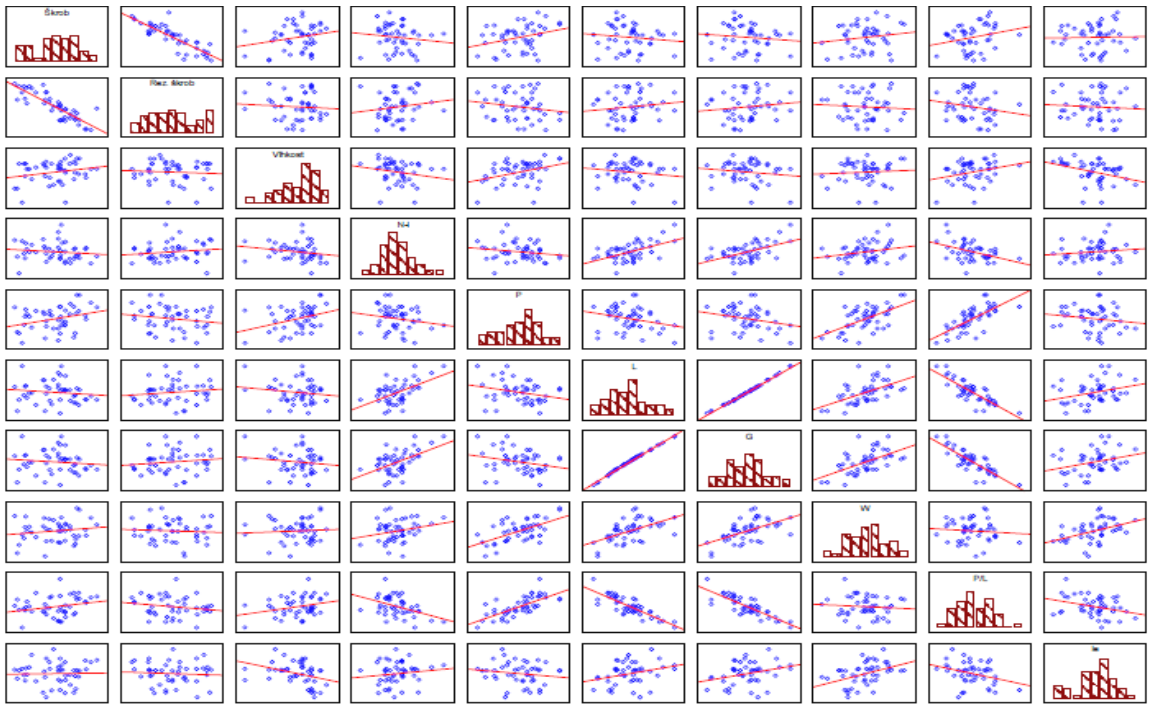
Parametr pevnost lepku (P) je ve vzájemné pozitivní korelaci s parametrem pekařská síla a konfigurační poměr křivky.

Nejvýznamnější pozitivní korelace byla prokázána mezi parametry tažnost lepku (L) a index nafouknutí (G), parametry tažnost lepku (L) a pekařská síla. Dále bylo prokázáno, že parametr tažnost lepku (L) negativně koreluje s parametrem konfigurační poměr křivky (P/L).

### 7.3.3 Grafické zobrazení vícerozměrných dat

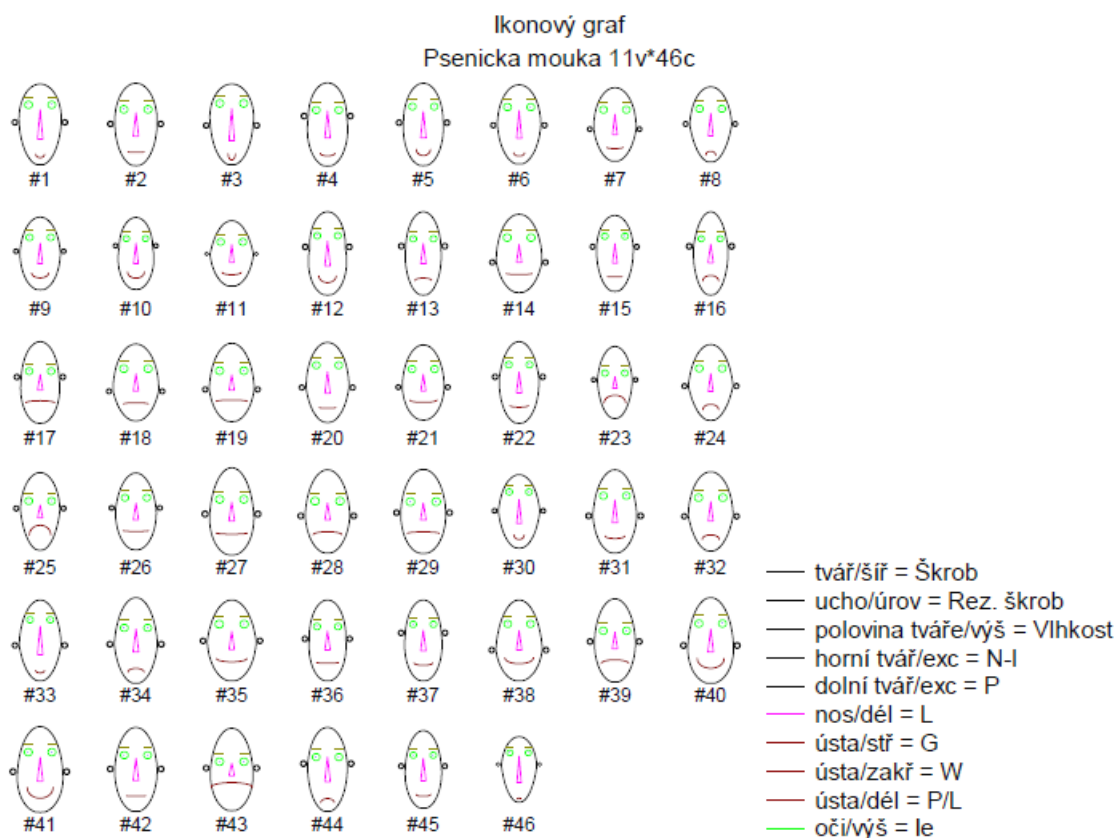
Pro zobrazení průzkumové analýzy vícerozměrných dat bylo použito grafické znázornění pomocí zobecněného rozptylového diagramu (tzv. maticový graf) a symbolového (tzv. ikonového) grafu, které odhalují podobnost mezi objekty.

Přehlednější podobu korelační matice znázorňuje maticový graf (Obr. 18).



Obr. 18 Maticový graf korelace znaků

Z Obr. 18 je možné identifikovat vybočující body, které ovlivňují párový korelační koeficient a strukturu objektů. Objekty seskupeny kolem přímky proložení jsou charakteristické vysokým korelačním koeficientem (cca 0,9999). Objekty soustředěny dále od přímky proložení vykazují malý korelační koeficient (cca 0,111).



Obr. 19 Ikonový graf

Na základě sestaveného ikonového grafu – Černoffovy tváře (Obr. 19) lze podle stejného tvaru tváře zhodnotit podobnost objektů. Každá část tváře charakterizuje jednotlivý parametr.

Vzorky č. 4 (#4), č. 5 (#5) a č. 26 (#22) jsou charakteristické přibližně stejnou šíří tváře, a proto by měly mít přibližně stejný obsah škrobu. Celkovou podobnost tváře vykazují dvojice vzorků, a to vzorek č. 40 (#36) a vzorek č. 41 (#37), proto by měly mít podobné hodnoty příslušných parametrů.



## 7.4 Analýza hlavních komponent

Cílem užití metody PCA je nalézt znaky, které nejvíce ovlivňují kvalitu mouky a objekty, které jsou si podobné nebo nepodobné ostatním objektům.

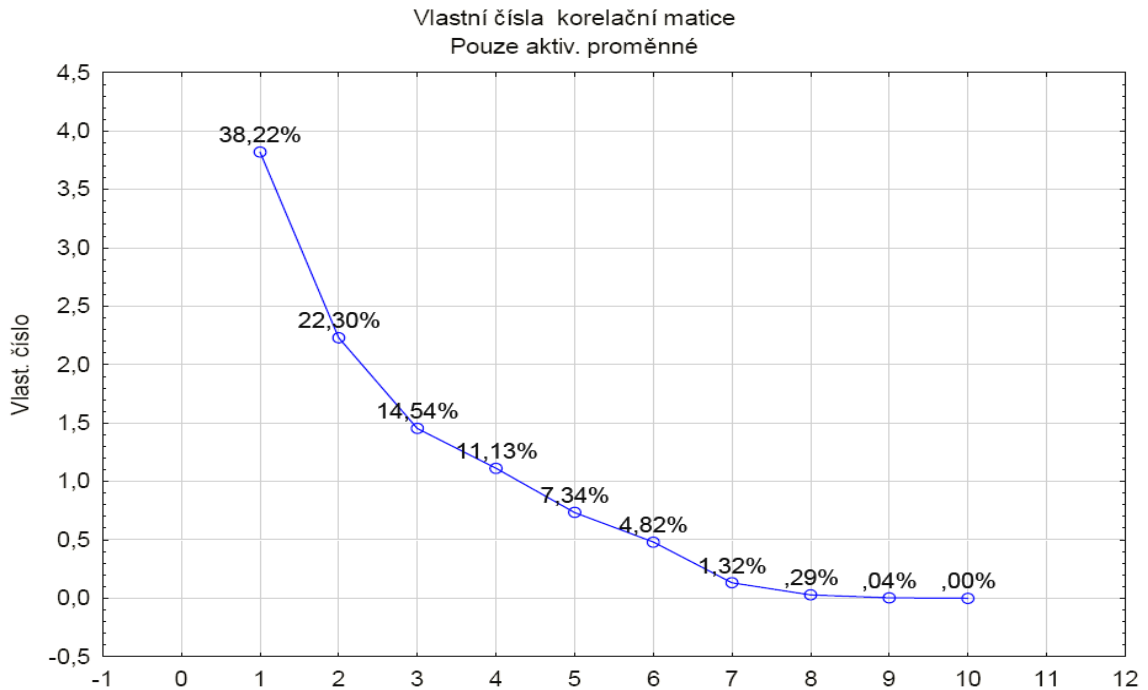
### 7.4.1 Redukce znaků

#### Vyšetření Cattelova indexového grafu úpatí vlastních čísel

Tab. 10 znázorňuje tabelární podobu Cattelova indexového grafu úpatí vlastních čísel (Obr. 20). Proměnlivost v původních znacích vyjadřuje procento celkového rozptylu a kumulativní procento, které vystihuje příslušná hlavní komponenta.

Tab. 10 Vlastní čísla

Pořadí vl.č.	Vlastní čísla korelační matice a související statistiky (Psenicka mouka) Pouze aktiv. proměnné			
	vl. číslo	% celk. rozptylu	Kumulativ. vl. číslo	Kumulativ. %
1	3,821580	38,21580	3,82158	38,2158
2	2,229916	22,29916	6,05150	60,5150
3	1,453814	14,53814	7,50531	75,0531
4	1,113043	11,13043	8,61835	86,1835
5	0,733572	7,33572	9,35192	93,5192
6	0,482070	4,82070	9,83399	98,3399
7	0,132394	1,32394	9,96639	99,6639
8	0,029021	0,29021	9,99541	99,9541
9	0,004197	0,04197	9,99961	99,9961
10	0,000394	0,00394	10,00000	100,0000



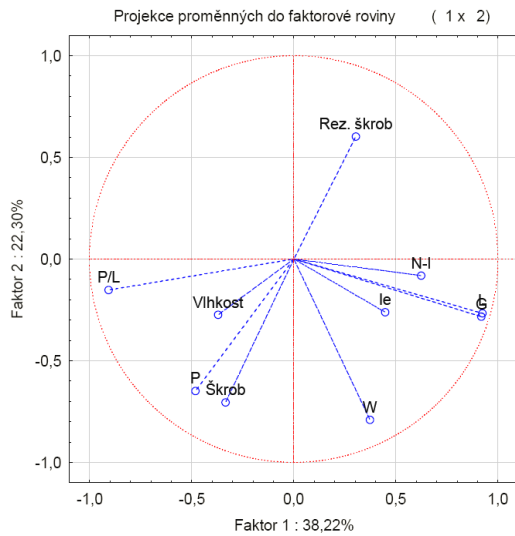
Obr. 20 Cattelův indexový graf úpatí vlastních čísel

Tento sloupcový diagram (Obr. 20) zobrazuje velikost jednotlivých vlastních čísel. Zobrazený Cattelův indexový graf úpatí vlastních čísel neindikuje zlom. Z grafu (Obr. 20) byly dle Kaiserova kritéria vybrány jen hlavní komponenty, které mají vlastní čísla větší nebo rovné 1, a proto byly pro analýzu vybrány první tři hlavní komponenty s celkovým rozptylem 75,1 %.

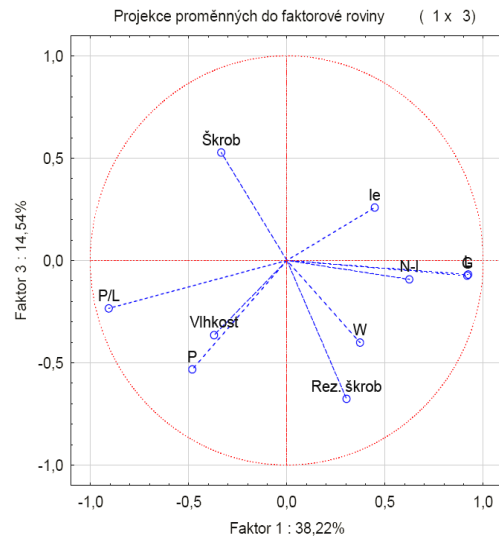
### Vyšetření grafu komponentních zátěží

Graf komponentních zátěží znázorňuje, jakou měrou přispívají jednotlivé původní znaky do hlavních komponent (tzn. informuje o korelaci mezi původními znaky a hlavními komponentami). Každý bod v grafu odpovídá jednomu znaku. V grafu komponentních zátěží se porovnávají vzdálenosti mezi znaky a úhel mezi průvodiči.

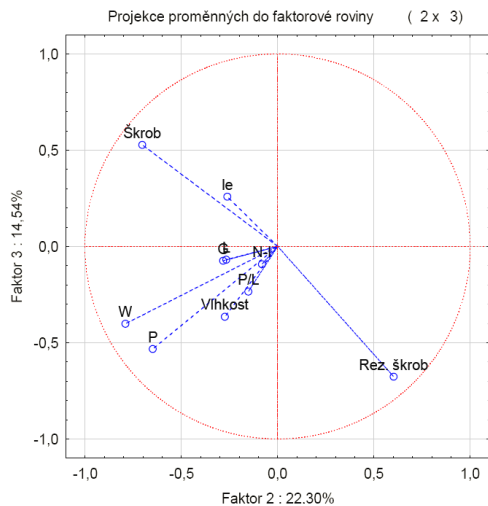
Krátká vzdálenost nebo malý úhel mezi průvodiči značí mezi dvěma znaky vysokou pozitivní korelaci. Velká vzdálenost nebo velký úhel mezi průvodiči značí mezi dvěma znaky vysokou negativní korelaci. Znaky s úhlem  $0^\circ$  mezi průvodiči jsou silně pozitivně korelované, znaky s úhlem  $90^\circ$  jsou zcela nekorelované, zatímco znaky s úhlem  $180^\circ$  jsou negativně korelované. Znaky s malou důležitostí a malou variabilitou leží blízko počátku. Takové znaky je možné z modelu odstranit [64].



Obr. 21 Graf komponentních zátěží PC1 a PC2



Obr. 22 Graf komponentních zátěží PC1 a PC3



Obr. 23 Graf komponentních zátěží PC2 a PC3

Při vyšetření redukce počtu znaků se vychází z grafu komponentních zátěží PC1 a PC2 (Obr. 21), jelikož vystihuje největší část proměnlivosti. Vysokou pozitivní korelaci vykazují parametry tažnost lepku (L), index nafouknutí (G), dusíkaté látky (N-I) a index elasticity (le), jelikož se vyznačují krátkou vzdáleností mezi průvodiči. Dále se vysokou pozitivní korelací vyznačují parametry škrob, pevnost lepku (P), vlhkost a index elasticity (le). Vysoká negativní korelace je patrná u parametrů škrob a rezistentní škrob, jelikož se vyznačují velkou vzdáleností mezi průvodiči.

Z grafu komponentních zátěží PC1 a PC2 (Obr. 21) je zřejmé, že parametry rezistentní škrob a pekařská síla (W) spolu nekorelují, protože mezi průvodiči těchto dvou parametrů

je úhel 90 °. Podobné je to i mezi parametry vlhkost a index elasticity (le), škrob a tažnost lepku (L), škrob a index nafouknutí (G).

Parametr vlhkost leží blízko počátku a proto je řazen mezi parametr s malou důležitostí. Na základě uvedených údajů je parametr vlhkost z modelu hlavních komponent odstraněn. Ostatní parametry jsou charakteristické dostatečně dlouhým průvodičem a nebyla u nich nalezena významná podobnost. Z tohoto důvodu jsou důležité pro sestavení modelu a zůstávají v modelu ponechány.

#### 7.4.2 Hledání vazeb a struktury ve znacích a objektech

Výpočet hlavních komponent byl opakován, neboť odstraněním parametru vlhkost se snížil počet proměnných z 10 na 9 a bylo třeba analyzovat bez rozptylu tohoto parametru. Odstraněním tohoto znaku došlo k vyčíslení odlišných vlastních čísel a komponentních vah.

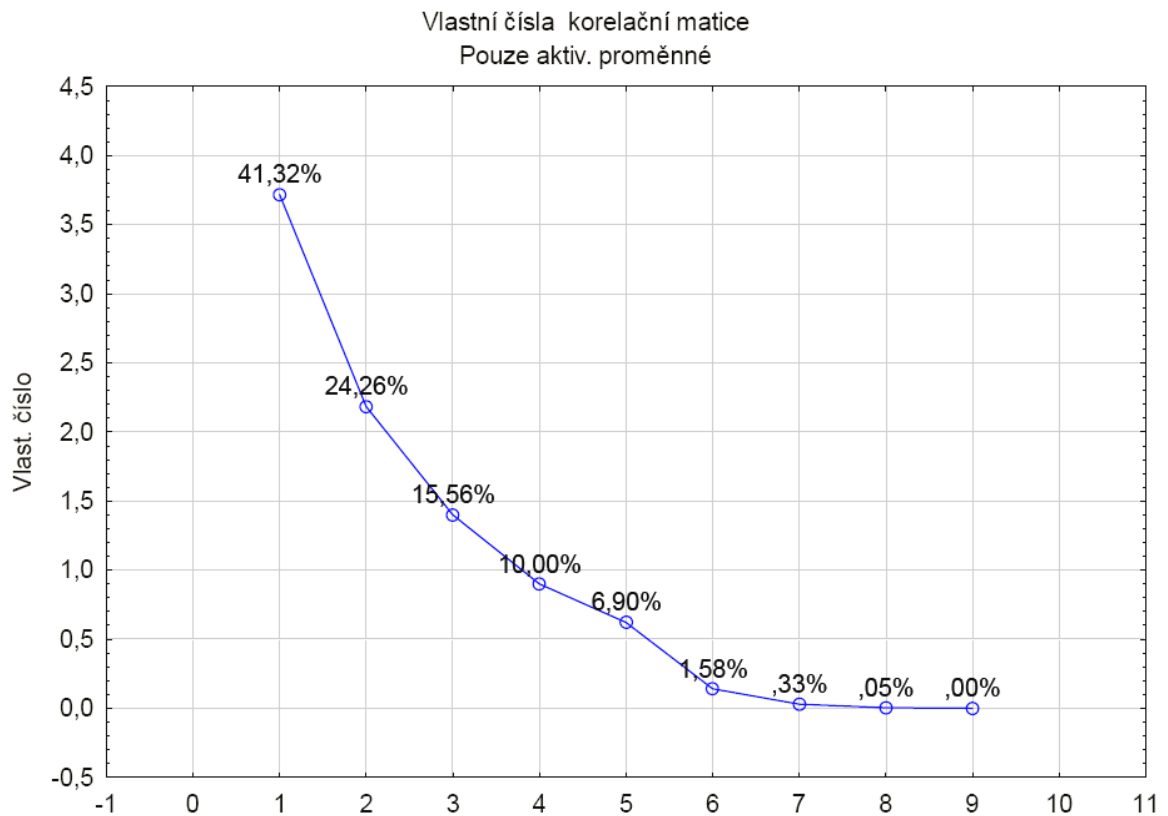
#### Vyšetření Cattelova indexového grafu úpatí vlastních čísel

Tabelární podoba vlastních čísel je znázorněna v tabulce 11. Grafické vyjádření vlastních čísel je znázorněno v Cattelově indexovém grafu úpatí vlastních čísel (Obr. 24).

Tab. 11 Vlastní čísla

Pořadí vl.č.	Vlastní čísla korelační matice a související statistiky (Psenicka mouka) Pouze aktiv. proměnné			
	vl. číslo	% celk. rozptylu	Kumulativ. vl. číslo	Kumulativ. %
1	3,718810	41,32011	3,718810	41,3201
2	2,183342	24,25936	5,902153	65,5795
3	1,400690	15,56323	7,302843	81,1427
4	0,900354	10,00393	8,203197	91,1466
5	0,620755	6,89728	8,823952	98,0439
6	0,141882	1,57647	8,965834	99,6204
7	0,029574	0,32860	8,995409	99,9490
8	0,004197	0,04664	8,999606	99,9956
9	0,000394	0,00437	9,000000	100,0000

Vyšetření vlastních čísel bylo opět provedeno na Cattelově indexovém grafu úpatí vlastních čísel (Obr. 24). Dle Kaiserova kritéria byly vybrány jen hlavní komponenty, které mají vlastní čísla větší nebo rovné 1. Z tohoto důvodu byly vybrány první tři komponenty, které značí 81,1 % proměnlivosti.



Obr. 24 Cattelův indexový graf úpatí vlastních čísel

### Výpočet vlastních vektorů pro hlavní komponenty

Vlastní vektory (tzv. komponentní váhy) informují o vztahu mezi původními znaky a hlavními komponentami (Tab. 12). Komponentní váhy popisují relativní důležitost každého znaku vzhledem k hlavní komponentě.

Tab. 12 Vlastní vektory

Proměnná	Vlastní vektory korelační matice (Psenicka mouka) Pouze aktiv. proměnné							
	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 5	Faktor 6	Faktor 7	Faktor 8
Škrob	-0,159588	-0,498136	0,437950	0,159248	0,009464	0,712182	-0,009585	0,042987
Rez. škrob	0,153674	0,444342	-0,538861	-0,081265	-0,019442	0,693279	0,005917	0,030287
N-I	0,325235	-0,034972	-0,057771	0,418696	0,843158	-0,020927	-0,053294	-0,011213
P	-0,229395	-0,434144	-0,516852	0,125403	-0,047813	-0,029848	-0,207704	-0,620740
L	0,490350	-0,139693	-0,002156	0,154587	-0,237057	-0,013224	0,473321	0,033815
G	0,488306	-0,150267	-0,007259	0,145705	-0,260850	0,003063	0,252502	-0,337609
W	0,214254	-0,513662	-0,408045	-0,109490	-0,087555	-0,077190	-0,249376	0,647126
P/L	-0,468276	-0,130156	-0,274008	0,013396	0,198525	-0,032837	0,768627	0,165340
le	0,220100	-0,204530	0,075611	-0,848357	0,339139	0,060095	0,114566	-0,224854

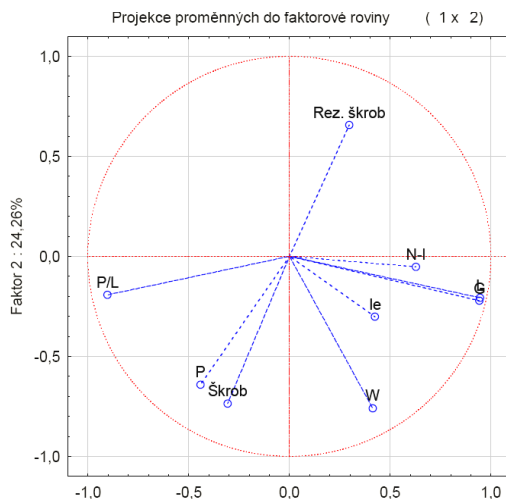
Důležitost znaků vzhledem k hlavní komponentě:

- První hlavní komponenta – nejdůležitější je znak tažnosti lepku (L) s kladnou komponentní váhou
- Druhá hlavní komponenta – nejdůležitější je znak pekařské síly (W) se zápornou komponentní váhou
- Třetí hlavní komponenta – nejdůležitější je znak pevnosti lepku (P) se zápornou komponentní váhou

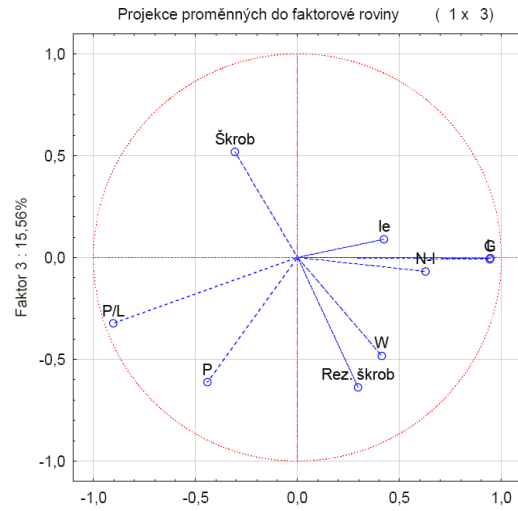
### Vyšetření grafu komponentních zátěží

Tab. 13 Komponentní zátěže

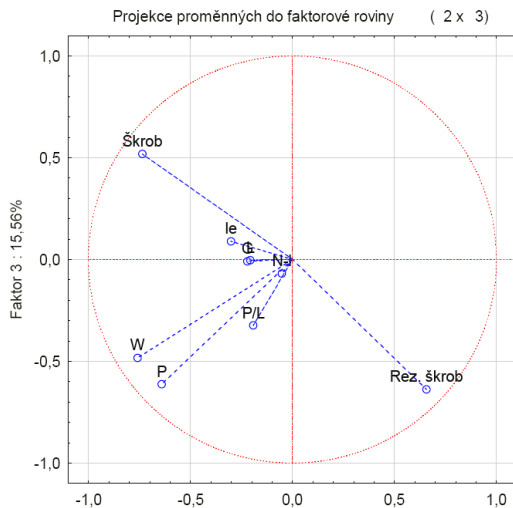
Proměnná	Faktorové souřadnice proměnných podle korelací (Psenicka mouka)							
	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 5	Faktor 6	Faktor 7	Faktor 8
Škrob	-0,307754	-0,736052	0,518317	0,151105	0,007457	0,268259	-0,001648	0,002785
Rez. škrob	0,296348	0,656566	-0,637746	-0,077110	-0,015318	0,261139	0,001018	0,001962
N-I	0,627189	-0,051675	-0,068372	0,397288	0,664307	-0,007883	-0,009165	-0,000726
P	-0,442369	-0,641498	-0,611698	0,118991	-0,037671	-0,011243	-0,035719	-0,040216
L	0,945601	-0,206412	-0,002552	0,146683	-0,186772	-0,004981	0,081398	0,002191
G	0,941659	-0,222037	-0,008591	0,138255	-0,205518	0,001154	0,043423	-0,021873
W	0,413171	-0,758995	-0,482924	-0,103892	-0,068983	-0,029075	-0,042886	0,041926
P/L	-0,903033	-0,192321	-0,324291	0,012711	0,156414	-0,012369	0,132182	0,010712
le	0,424447	-0,302216	0,089486	-0,804980	0,267201	0,022636	0,019702	-0,014568



Obr. 25 Graf komponentních zátěží PC1 a PC2



Obr. 26 Graf komponentních zátěží PC1 a PC3



Obr. 27 Graf komponentních zátěží PC2 a PC3

Graf komponentních zátěží PC1 a PC2 (Obr. 25) objasňuje největší proměnlivost znaků (parametrů), a proto je nejvhodnější k vysvětlení vztahů mezi znaky. Znaky, které jsou v grafu umístěné ve stejném směru vůči počátku, vykazují pozitivní korelaci. Negativně korelované znaky jsou umístěné v opačném směru.

Z grafu (Obr. 25) vyplývá, že parametry rezistentní škrob, dusíkaté látky (N-I), tažnost lepku (L), index nafouknutí (G), index elasticity (le) a pekařská síla (W), vykazují vzájemnou pozitivní korelaci. Parametry škrob, pevnost lepku (P) a konfigurační poměr křivky (P/L) jsou vzájemně pozitivně korelované, ale současně negativně korelované s předešlými parametry.

## 7.5 Analýza shluků

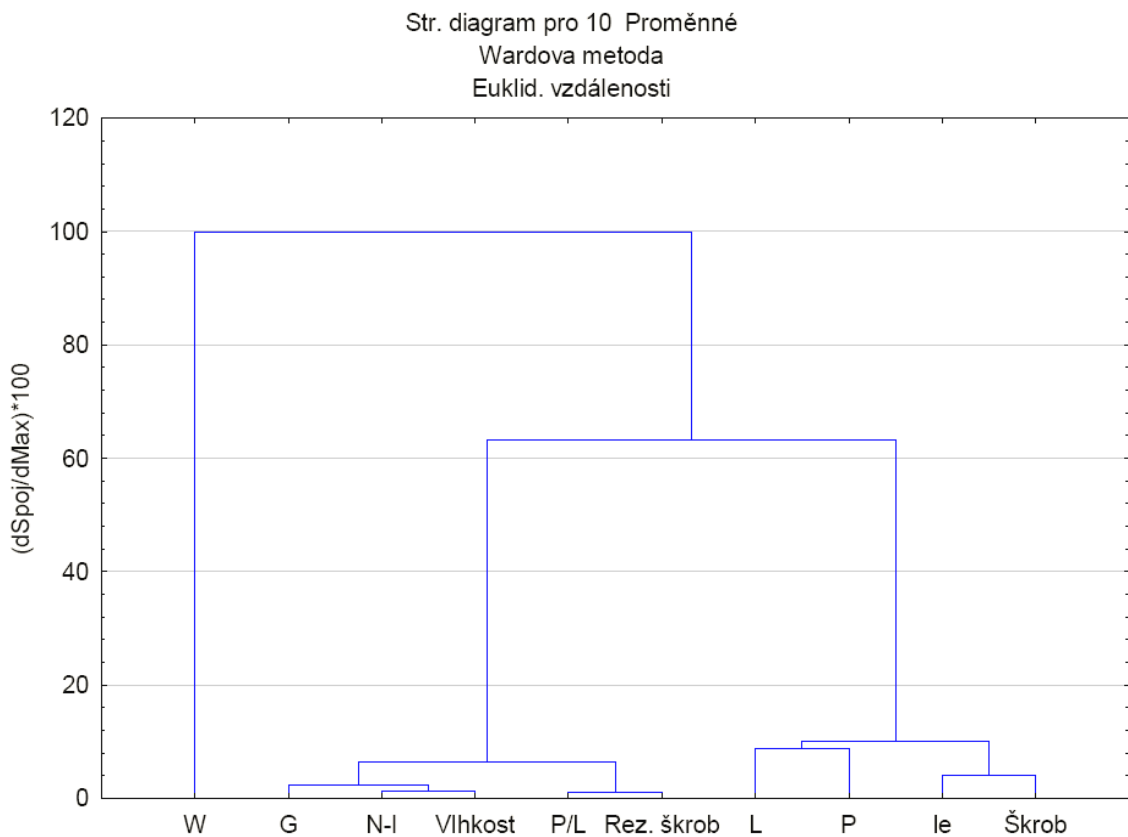
Vyšetřování podobnosti vícerozměrných objektů a jejich klasifikace do tříd (tzv. shluků) byla provedena Wardovou metodou.

Principem této metody není optimalizace vzdáleností mezi shluky, ale minimalizace heterogenity shluků podle kritéria minima přírůstku vnitroskupinového součtu čtverců odchylek objektů od těžiště shluků [64].

Dendrogram podobnosti znázorňuje rozlišení znaků ve shlucích. Znaky či proměnné, které jsou propojené hodně nízko spojovací úsečkou, mají značnou vzájemnou podobnost. Znaky propojené hodně vysoko mají malou podobnost.

Analýzou shluků byla hodnocena podobnost znaků pomocí dendrogramu znaků (Obr. 28) a podobnost objektů pomocí dendrogramu objektů (Obr. 29). Dendrogram znaků a objektů (tzv. vývojový strom) byl konstruován z matice původních znaků.

### Analýza podobnosti znaků pro 10 parametrů

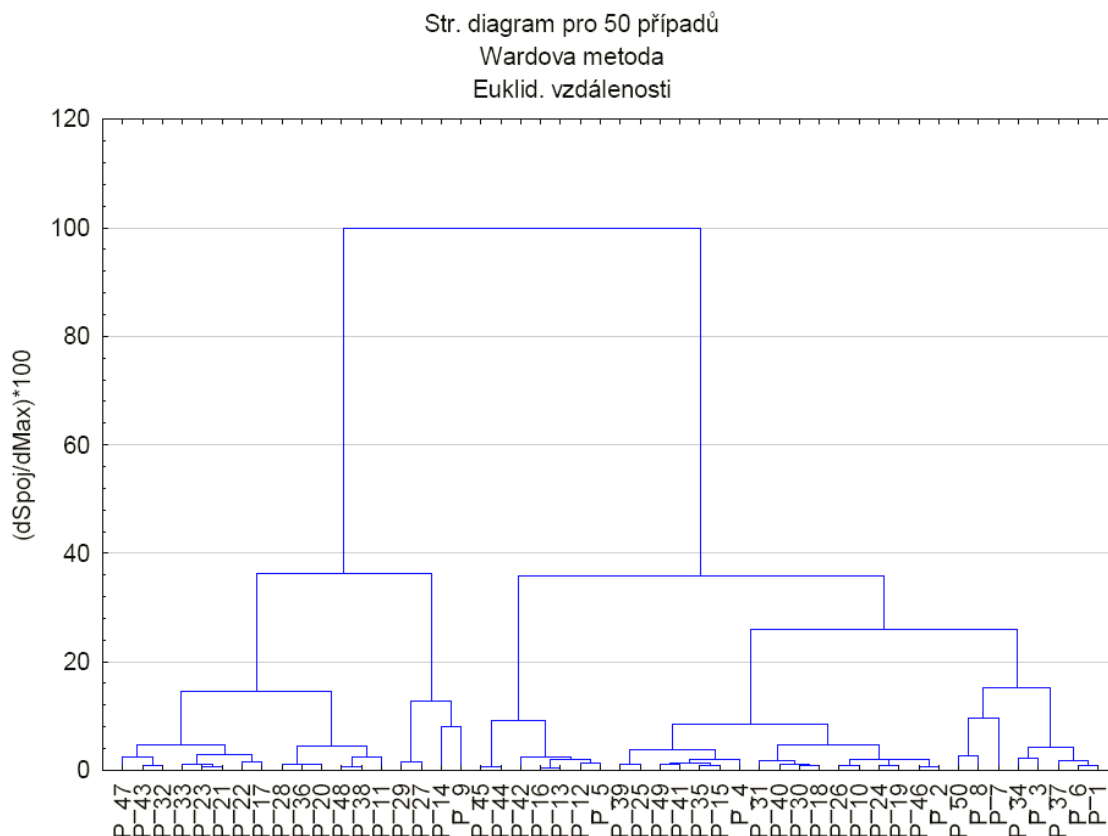


Obr. 28 Dendrogram znaků



Z uvedeného grafu (Obr. 28) vyplývá, že analýzou shluků bylo dosaženo dvou výsledných shluků. První shluk tvoří znaky index nafouknutí těsta (G), obsah dusíkatých látek (N-I), vlhkost, konfigurační poměr křivky (P/L) a rezistentní škrob. Druhý shluk je tvořen znaky tažnost lepku (L), pevnost lepku (P), indexem elasticity (Ie) a obsahem škrobu. Znaky, které jsou ve společném shluku si jsou značně podobné a spolu korelují.

### Analýza podobnosti objektů pro 50 vzorků mouky



Obr. 29 Dendrogram objektů

Z uvedeného grafu (Obr. 29) lze usoudit, že vzorky mouky č. (47, 43, 32, 33, 23, 21, 22, 17, 28, 36, 20, 48, 38, 11, 29, 27, 14, 9) vytvářejí shluk a vyznačují se značnou podobností. Značná podobnost je patrná u vzorků č. (45, 44, 42, 16, 13, 12, 5, 39, 25, 49, 41, 35, 15, 4, 31, 40, 30, 18, 26, 10, 24, 19, 56, 2, 50, 8, 7, 34, 3, 37, 6, 1).

## ZÁVĚR

Diplomová práce byla zaměřena na stanovení obsahu škrobu, rezistentního škrobu a dusíkatých látek ve vzorcích pšeničné mouky, které byly poskytnuty firmou Penam, a. s a následném statistickém vyhodnocení možné závislosti mezi parametry.

Pšeničná obilná zrna by měla obsahovat 60,0–76,0 % škrobu. V mouce, která je tvořena převážně endospermem, je vyšší (75,0–80,0 %). Chemickou analýzou byl stanoven průměrný obsah rezistentního škrobu 4,9 % a průměrný obsah nerezentního škrobu 66,0 %. Ze získaných údajů byl vypočítán průměrný celkový obsah škrobu 71,0 %. Z naměřených výsledků bylo patrné, že se tyto dva parametry vzájemně mohou ovlivňovat. Statistickou analýzou byla prokázána mezi parametry škrob a rezistentní škrob negativní korelace. Jelikož obsah škrobu v pšeničné mouce je závislý na podmínkách zpracování, stupni vymletí, podmínkách pěstování a odrůdových vlastnostech, lze potvrdit, že druh mouky ovlivňuje obsah škrobu v pšeničné mouce a že se vzrůstajícím obsahem rezistentního škrobu klesá obsah škrobu v pšeničné mouce.

Celkový obsah dusíku byl stanoven Kjeldahlovou metodou s úpravou dle Winklera pomocí automatické destilační jednotky Pro-Nitro. Průměrný obsah dusíkatých látek, u 50 vzorků mouky, činil 11,0 %. Pšenice pro pekárenské využití by měla obsahovat min. 11,5 % dusíkatých látek. Průměrná hodnota 11,0 % získaná od padesáti vzorků tento požadavek nesplňovala. Dále bylo prokázáno statistickou analýzou na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ , že parametr dusíkaté látky je v negativní korelaci s parametrem škrob a v pozitivní korelaci s parametrem rezistentní škrob. Dále parametr dusíkaté látky vykazoval významnou pozitivní korelaci s parametrem tažnost lepku (L) a parametrem index nafouknutí (G). S parametrem konfigurační poměr křivky (P/L) je ve vzájemné negativní korelaci. Velmi významná pozitivní korelace na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  byla prokázána mezi parametry tažnost lepku a index nafouknutí. Tyto dva parametry spolu úzce souvisí a ve významné míře ovlivňují kvalitu pekařského výrobku, protože tažný lepek umožňuje, aby se pečivo pod tlakem kvasných plynů zdvihalo a tvořila se jemná pravidelná pórovitost, která je důležitá pro charakter střídy. Je-li lepek naopak příliš tažný vzniká pečivo nevykynuté a nízké. Kvalita lepku by mohla být ovlivněna stupněm vymletí, protože se vzrůstajícím vymletím mouky obsah bílkovin stoupá, ovšem zhoršují se jeho vlastnosti.

Analýzou hlavních komponent byla opět potvrzena pozitivní korelace mezi parametry rezistentní škrob, dusíkaté látky (N-I), tažnost lepku (L), index nafouknutí (G), index

elasticity ( $le$ ) a pekařská síla ( $W$ ), ale současně negativní korelace těchto parametrů s parametry škrob, pevnost lepku ( $P$ ) a konfigurační poměr křivky ( $P/L$ ), které jsou ve vzájemné pozitivní korelaci.

Naměřené hodnoty a vyhodnocená statistická analýza potvrzuje, že škrob, rezistentní škrob a dusíkaté látky spolu vzájemně korelují a jejich obsah je závislý na druhu mouky (škrob a rezistentní škrob jsou ve vzájemné negativní korelaci, dusíkaté látky jsou v negativní korelaci se škrobem a pozitivní korelaci s rezistentním škrobem). Jsou hlavními složkami pšeničné mouky a společně s obsahem a kvalitou lepku mají rozhodující význam při hodnocení jakosti pšeničných mouk.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] KADLEC, P., MELZUCH, K., VOLDŘICH, M. a kol. *Technologie potravin: Co byste měli vědět o výrobě potravin*. Ostrava: KEY Publishing s.r.o., 2009, 536 s. ISBN 978-80-7418-051-4
- [2] HRABĚ, J., ROP, O., HOZA, I. *Technologie výroby potravin rostlinného původu*. Zlín: UTB ve Zlíně, 2006, 178 s. ISBN 80-7318-372-2
- [3] KUČEROVÁ, J. *Technologie cereálií*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2004, 141 s. ISBN 80-7157-811-8
- [4] KOLBE, H. Einflussfaktoren auf die Inhaltsstoffe der Kartoffel: Zellwandverbindungen. *Der Kartoffelbau*, 1998, 49, s. 190-195. ISSN 0022-9156
- [5] DUDÁŠ, F. a kol. *Skladování a zpracování rostlinných výrobků*. Praha: SZN, 1981, 384 s. ISBN 07-083-81
- [6] VELÍŠEK, J., HAJŠLOVÁ, J. *Chemie potravin I*. Tábor: OSSIS, 2009, 602 s. ISBN 978-80-86659-12-5
- [7] JAMES, M., DENYER, K., MYERS, A. Starch synthesis in the cereal endosperm. *Current Opinion in Plant Biology*, 2003, 6, s. 215-222.
- [8] CHANDRA, R., RUSTGI, R. Biodegradable polymers. *Progress in polymer science*, 1998, 23, s. 1273-1335, ISSN: 0079-6700
- [9] VAN DER MAAREL, M. J. E. C., VAN DER VEEN, B., UITDEHAAG, J.C.M., LEEMHUIS, H., DIJKHUIZEN, L. Properties and applications of starch-converting enzymes of the  $\alpha$ -amylase family. *Journal of Biotechnology*, 2002, 94, s. 137-155. ISSN 0168-1656
- [10] MÜLLEROVÁ, M., SKOUPIL, J. *Výroba chleba a jemného cukrářského pečiva. Technologie pro 3. ročník SPŠPT*. Praha: SNTL, 1986, 185 s.
- [11] DAVÍDEK, J., JANÍČEK, G., POKORNÝ, J. *Chemie potravin*. Praha: SNTL, 1983, 632 s. 04-815-83
- [12] SKOUPIL, J. *Suroviny a polotovary pro cukrářskou výrobu*. Praha: Společnost cukrářů ČR, 2005, 367 s. ISBN 802396061X

- [13] HOSENEY, R.C. *Principles of cereal science and technology*. St. Paul: AACC, 1994, 378 s.
- [14] NIGAM, P., SINGH, D. Enzyme and microbial systems involved in starch processing. *Enzyme and Microbial Technology*, 1995, 17, s. 770-778. ISSN 0141-0229
- [15] CHLOUPEK, O., PROCHÁZKOVÁ, B., HRUDOVÁ, E. *Pěstování a kvalita rostlin*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2005, 181 s. ISBN 80-7157-897-5
- [16] WIKIPEDIE. *Zdroje a využití škrobu*. [online]. [cit. 2011-04-27].  
Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0krob>
- [17] LAWTON, J. W. Non-food use of cereal. *Cereal chemistry*, 2002, 79, s. 1-18.
- [18] PROCHÁZKA, S., MACHÁČKOVÁ, I., KREKULE, J., ŠEBÁNEK, J. a kol. *Fyziologie rostlin*. Praha: Academia, 1998, 484 s. ISBN 80-200-0586-2
- [19] Vyhláška Ministerstva zemědělství ČR 329/1997 Sb., v platném znění
- [20] KOPÁČOVÁ, O. *Trendy ve zpracování cereálií s přihlédnutím zejména k celozrnným výrobkům*. Praha: UZPI, 2007, 55 s. ISBN 978-80-7271-184-0
- [21] DRDÁK, M.; STUDNICKÝ, J.; MÓROVÁ, E.; KAROVIČOVÁ, J. *Základy potravinářských technologií*. Bratislava: MALÉ CENTRUM, 1996, 512 s. ISBN 80-967064-1-1
- [22] PELIKÁN, M., SÁKOVÁ, L. *Jakost a zpracování rostlinných produktů*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2001, 233 s. ISBN 80-7040-502-3
- [23] PŘÍHODA, J., HUMPOLÍKOVÁ, P., NOVOTNÁ, D. *Základy pekárenské technologie*. 1. vyd. Praha: Pekař a cukrář s.r.o., 2003, 183s. ISBN 80-902922-1-6.
- [24] PLISKOVÁ, V., PLISKA, V. *Suroviny pro 1. a 2. ročník SOU*. Praha: SNTL, 1984, 211 s.
- [25] JAROLÍMKOVÁ, S. *Jak připravovat obiloviny, luštěniny, semena a ořechy*. Praha: MOTTO, 2007, 170 s. ISBN 978-80-7246-355-8
- [26] BIGGS, M., McVICAR, J., FLOWERDEW, B. *Complete Book Of Vegetables, Herbs and Fruits*. 2004, 640 s. ISBN 1-85626-571-4

- [27] GONZALEZ, R., CARRARA, C., TOSI, E., AÑÓN, M. C., PILOSO, A. Amaranth starch rich fraction properties modified by extrusion and fluidised bed heating. *Food Science and Technology*. 2007, 40, s. 136-143.
- [28] GROFOVÁ, Z. *Vláknina*. Medicína pro praxi. 2009, roč. 6, č. 4, 206-208 s. ISSN 1214-8687
- [29] THOMPSON, D. B. Strategies for the manufacture of resistant starch. *Trends in Food Science & Technology*. 2000, 11, s. 245-253.
- [30] Effect of food processing on the resistant starch content of cereals and cereal products-a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 2011, 46, s. 455-462.
- [31] MRÁZOVÁ, B. Charakteristika a vlastnosti pohanky. *Bakalářská práce*. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. 2010, Zlín, 50 s.
- [32] KVASNIČKOVÁ, A. *Rezistentní škrob: přehled*. 2006, č. 43202 [online]. [cit. 2011-04-27].  
Dostupné z: <http://www.agronavigator.cz/default.asp?ids=3810&ch=1&typ=1&val=43202>
- [33] KVASNIČKOVÁ, A. *Potravina nového typu: modifikovaný rezistentní škrob*. 2009, č. 96618 [online]. [cit. 2011-04-27].  
Dostupné z: <http://www.agronavigator.cz/default.asp?ids=162&ch=13&typ=1&val=96618>
- [34] KOPÁČOVÁ, O. *Rezistentní bramborový škrob*. 2004, č. 29127 [online]. [cit. 2011-04-27].  
Dostupné z: <http://www.agronavigator.cz/default.asp?ch=13&typ=1&val=29127&ids=169>
- [35] SLUKOVÁ, M. *Cereální chemie a technologie*. Ústav chemie a technologie sacharidů. [online]. [cit. 2011-04-27].  
Dostupné z: [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)
- [36] PALÍK, S., BUREŠOVÁ, I., EDLER, S., SEDLÁČKOVÁ, I., TICHÝ, F., VÁŇOVÁ, M. *Metodika pěstování ozimé pekárenské pšenice*. Kroměříž: Agrotest fyto, s. r. o., 2009, 68 s. ISBN 978-80-86888-07-1

- [37] HRUŠKOVÁ, M., JIRSA, O., ŠVEC, I. *Jakost komerční pšenice mouky hladké světlé*. Praha: Mlynářské noviny, roč. 17, č.1/2, nakladatelství 5Pdr. L. Peškové, 2006, 16 s. ISSN 1214-6374
- [38] FOŘT, P. *Tak co mám jíst*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2007, 424 s. ISBN 978-80-247-1459-2
- [39] MOMČILOVÁ, P. *Špalda & Ječmen ve zdravé kuchyni*. Praha: Medica publishing, 2003, 116 s. ISBN 80-85936-44-5
- [40] PEŠEK, M. a kol. *Potravinářské zbožíznalství*. České Budějovice: 2000, 175 s. ISBN 80-7040-399-3
- [41] ŠTĚPÁN, L., KŘIVANOVÁ, M. *Dílo a život mlynářů a sekerníků v Čechách*. Praha : ARGO, 2000, 307 s. ISBN 80-7203-254-2
- [42] HRUŠKOVÁ, M., VÍTOVÁ, M., ŠVEC, I. *Těstoviny s přídavkem netradičních plodin*. Praha: Mlynářské noviny, roč. 18, č. 4, nakladatelství 5Pdr. L. Peškové, 2007, 15 s. ISSN 1214-6374
- [43] HRUŠKOVÁ, M., ŠVEC, I. *Užití celozrnné bio mouky ve směsi s pšeničnou světlou*. Praha: Mlynářské noviny, roč. 20, č. 1, nakladatelství 5Pdr. L. Peškové, 2009, 15 s. ISSN 1214-6374
- [44] FILIP, P. *Obilní trhy v EU nabourány*. Praha: Mlynářské noviny, roč. 18, č. 1, nakladatelství 5Pdr. L. Peškové, 2007, 15 s. ISSN 1214-6374
- [45] ZIMOLKA, J. *Pšenice-pěstování, hodnocení a užití zrna*. Praha: Profi Press, s.r.o., 2005, 180 s. ISBN 80-86726-09-6
- [46] HRUŠKOVÁ, M., ŠVEC, I., BIOLKOVÁ, M. *Komplexní hodnocení vybraných mlýnských meziproductů a výrobků průmyslového mlýna*. Obilnářské listy 1/2010. [online]. [cit. 2011-04-13].  
Dostupné z: <http://www.vukrom.cz/obilnarske-listy/pdf-ol/obil-listy-1-2010.pdf>
- [47] HRUŠKOVÁ, M., VAGENKNECHT, O., ŠVEC, I. *Tvrdomost komerční potravinářské pšenice*. Praha: Mlynářské noviny, roč. 19, č. 4, nakladatelství 5Pdr. L. Peškové, 2007, 15 s. ISSN 1214-6374
- [48] TREUILLE, E., FERRIGNOVÁ, U. *Chléb připravený ručně nebo v domácí pekárně*. Praha: IKAR, 2010, 168 s. ISBN 80-249-0598-1

- [49] PLISKOVÁ, V., PAVLIŠ, M. *Technologie pro 4. ročník SPŠ studijního oboru průmyslová výroba krmiv a mlynářství*. Praha: SNTL, 1988, 290 s.
- [50] PELIKÁN, M. *Zpracování obilovin a olejnin*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2001, 148 s. ISBN 80-7157-525-9
- [51] HAMPL, J., a kol. *Jakost pekárenských a cukrárenských výrobků*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1981, 232 s. ISBN 04-818-81
- [52] HRUŠKOVÁ, M., PŘÍHODA, J. *Hodnocení kvality*. Praha: Svaz průmyslových mlýnů ČR, 2007, 187 s. ISBN 978-80-239-9475-9
- [53] PŘÍHODA, J.; SKŘIVAN, P.; HRUŠKOVÁ, M. *Cereální chemie a technologie – Cereální chemie, mlýnská technologie, technologie výroby těstovin*. Praha: VŠCHT, 2003, 202 s. ISBN 80-7080-530-7
- [54] HRUŠKOVÁ, M., JIRSA, O., ŠVEC, I. *Sacharido-amylasový komplex pšeničné mouky světlé*. Praha: Mlynářské noviny, roč. 17, č. 4, nakladatelství 5Pdr. L. Peškové, 2006, 15 s. ISSN 1214-6374
- [55] BUREŠOVÁ, I., PALÍK, S. *Počasí jako faktor pekárenské kvality pšeničného zrna*. *Obilnářské listy* 1/2009. [online]. [cit. 2011-04-15].  
Dostupné z: <http://www.vukrom.cz/obilnarske-listy/pdf-ol/obil-listy-1-09.pdf>
- [56] PELIKÁN, M., HŘIVNA L., HUMPOLA, J. *Technologie sacharidů*. Brno: MZLU, 1999, 152 s.
- [57] NOVOTNÁ, A., NOVOTNÝ, R. *Chemické kontrolní metody pro 4. ročník SPŠPT*. Praha: SNTL, 1987, 248 s.
- [58] HRUŠKOVÁ, M., BUREŠOVÁ, I., CAPOUCHOVÁ, I., FAMĚRA, O., HANIŠOVÁ, A., HORÁKOVÁ, V., HORČIČKA, J., HŘIVNA, L., NOVOTNÝ, F., PETR, J. a PRUGAR, J. *Kvalita jako odrůdový znak* in PRUGAR, J., BARANYK, P., BÁRTA, J., BJELKOVÁ, M., BRADOVÁ, J. a kol. *Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí*. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, a.s. Praha 2008, 327 s. ISBN 978-80-86576-28-2
- [59] Vyhláška Ministerstva zemědělství ČR 333/1997 Sb., v platném znění
- [60] POPOVSKÁ, E. *Charakteristiky pasážních mouk*. Praha: Mlynářské noviny, roč. XX, č. 2 (130), nakladatelství 5Pdr. L. Peškové, 2009, 15 s. ISSN 1214-6374



- [61] HORÁKOVÁ, V. *Technologická jakost nově registrovaných odrůd obilovin- pšenice, tritikale, žito*. Mlynářská ročenka 2009, 110-129 s. ISBN 978-80-239-8627-3
- [62] BUREŠOVÁ, I., PALÍK, S. *Kvalita zrna potravinářské pšenice ze sklizně 2008*. Mlynářská ročenka 2009, 81-89 s. ISBN 978-80-239-8627-3
- [63] HRUŠKOVÁ, M., ŠVEC. *Vztahy jakostních znaků potravinářské pšenice, pšeničné mouky, těsta a pečiva*. Mlynářská ročenka 2009, 152-182 s. ISBN 978-80-239-8627-3
- [64] MELOUN, M., MILITKÝ, J., HILL, M. *Počítačová analýza vícerozměrných dat v příkladech*. Praha: Academia, 2005, 436 s. ISBN 80-200-1335-0
- [65] ČNS 46 1011-18 Zkoušení obilovin, luštěnin a olejnin – Část 18: Zkoušení obilovin – Stanovení obsahu dusíkatých látek. Praha: Český normalizační institut, 2003. 8s.
- [66] MEGAZYME. *Resistant starch assay procedure*. [online]. [cit. 2011-01-08].  
Dostupné z: <http://www.megazyme.com/booklets/KRSTAR.pdf>
- [67] QC-Expert [statistický program CD-ROM]. Ver. 3.0. Trial verze. Pardubice ČR: Trilobyte Statistical Software, 2007, Datum aktualizace 30. 7. 2008 [cit. 2011-03-08].  
Dostupné z: <http://www.trilobyte.cz>.
- [68] STATISTICA CZ [statistický program, CD-ROM]. Ver. 9.1. Tulsa (USA): Statsoft, Inc.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

<b>RŠ</b>	rezistentní škrob
<b>RS1</b>	škrob fyzikálně nepřístupný štěpení
<b>RS2</b>	škrobové granule s nativní rezistencí
<b>RS3</b>	retrográdní škrob
<b>RS4</b>	chemicky modifikovaný škrob
<b>ČR</b>	Česká republika
<b>PSI</b>	index velikosti částic
<b>ČP</b>	číslo poklesu
<b>ČSN</b>	Česká státní norma
<b>GI</b>	gluten index
<b>SDS-test</b>	sedimentační test
<b>FA</b>	faktorová analýza
<b>PCA</b>	analýza hlavních komponent
<b>CA</b>	kanonická korelační analýza
<b>CLU</b>	analýza shluků
<b>a.s.</b>	akciová společnost
<b>N-I</b>	dusíkaté látky
<b>P</b>	pevnost lepku
<b>L</b>	tažnost lepku
<b>G</b>	index nafouknutí
<b>W</b>	pekařská síla
<b>P/L</b>	konfigurační poměr křivky
<b>Ie</b>	index elasticity
<b>NH<sub>3</sub></b>	amoniak
<b>H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub></b>	kyselina trihydrogenboritá

**(NH<sub>4</sub>)<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>** boritan amonný

**H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** kyselina sírová

**VÚMPP** výzkumný ústav mlýnského a pekárenského průmyslu

**IMS** roztok tvořený 99 % etanolem a vodou

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 Znázornění struktury amylozy .....	14
Obr. 2 Znázornění struktury amylopektinu .....	14
Obr. 3 Pronikání vody mezi molekuly škrobu .....	15
Obr. 4 Anatomická stavba obilného zrna .....	26
Obr. 5 Struktura gliadinu .....	32
Obr. 6 Struktura gluteninu .....	32
Obr. 7 Stanovení bobtnavosti lepku .....	36
Obr. 8 Krabicový graf parametru škrob .....	56
Obr. 9 Krabicový graf parametru rezistentní škrob .....	57
Obr. 10 Krabicový graf parametru vlhkost .....	57
Obr. 11 Krabicový graf parametru dusíkaté látky .....	58
Obr. 12 Krabicový graf parametru pevnost lepku (P) .....	58
Obr. 13 Krabicový graf parametru tažnost lepku (L) .....	59
Obr. 14 Krabicový graf parametru indexu nafouknutí .....	59
Obr. 15 Krabicový graf parametru pekařská síla (W) .....	60
Obr. 16 Krabicový graf parametru konf. poměr křivky .....	60
Obr. 17 Krabicový graf parametru index elasticity (Ie) .....	61
Obr. 18 Maticový graf korelace znaků .....	63
Obr. 19 Ikonový graf .....	64
Obr. 20 Cattelův indexový graf úpatí vlastních čísel .....	66
Obr. 21 Graf komponentních zátěží PC1 a PC2 .....	67
Obr. 22 Graf komponentních zátěží PC1 a PC3 .....	67
Obr. 23 Graf komponentních zátěží PC2 a PC3 .....	67
Obr. 24 Cattelův indexový graf úpatí vlastních čísel .....	69
Obr. 25 Graf komponentních zátěží PC1 a PC2 .....	71

---

Obr. 26 Graf komponentních zátěží PC1 a PC3.....	71
Obr. 27 Graf komponentních zátěží PC2 a PC3.....	71
Obr. 28 Dendogram znaků .....	72
Obr. 29 Dendogram objektů.....	73

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Stupnice relativní tvrdosti pšenice.....	28
Tab. 2 Procentuální obsah jednotlivých složek v sušině.....	31
Tab. 3 Hodnocení tažnosti lepku.....	36
Tab. 4 Hodnocení bobtnavosti lepku.....	36
Tab. 5 Stupnice jakosti pšeničné hladké mouky.....	38
Tab. 6 Dělení mouk podle granulace.....	39
Tab. 7 Parametry získané od firmy Penam, a. s.....	48
Tab. 8 Popisné statistiky.....	62
Tab. 9 Matice korelačních koeficientů znaků.....	62
Tab. 10 Vlastní čísla.....	65
Tab. 11 Vlastní čísla.....	68
Tab. 12 Vlatní vektory.....	70
Tab. 13 Komponentní zátěže.....	70
Tab. 14 Výsledky chemické analýzy (v %)......	87

## PŘÍLOHA P I: VÝSLEDKY CHEMICKÉ ANALÝZY

Tab. 14 Výsledky chemické analýzy (v %)

Vzorek	N-látky	Rez. Škrob	Nerez. škrob	Celkový škrob
1	12,7 ± 0,04	5,13 ± 0,05	66,57 ± 0,55	71,7 ± 0,51
2	12,11 ± 0,03	4,73 ± 0,34	68,64 ± 0,31	73,37 ± 0,64
3	<b>13,31 ± 0,14</b>	4,69 ± 0,02	64,66 ± 0,27	69,35 ± 0,29
4	12,08 ± 0,03	6,08 ± 0,05	61,12 ± 0,19	67,2 ± 0,14
5	11,47 ± 0,02	5,03 ± 0,03	62,18 ± 0,09	67,21 ± 0,07
6	11,88 ± 0,01	4,71 ± 0,01	68,25 ± 0,34	72,96 ± 0,34
7	11,76 ± 0,08	<b>6,45 ± 0,04</b>	55,86 ± 0,09	<b>62,31 ± 0,12</b>
8	11,39 ± 0,05	5,27 ± 0,23	62,72 ± 0,15	67,99 ± 0,15
9	11,28 ± 0,2	5,2 ± 0,16	73,09 ± 0,19	<b>78,29 ± 0,15</b>
10	10,68 ± 0,32	4,23 ± 0,1	65,5 ± 0,48	69,73 ± 0,52
11	10,21 ± 0,11	4,89 ± 0,01	67,36 ± 0,23	72,25 ± 0,23
12	11,75 ± 0,86	5,17 ± 0,12	62,76 ± 0,43	67,93 ± 0,54
13	10,87 ± 0,25	6,16 ± 0,11	57,51 ± 0,36	63,66 ± 0,36
14	11,28 ± 0,02	4,82 ± 0,05	65,92 ± 0,31	70,74 ± 0,25
15	11,63 ± 0,21	4,77 ± 0,25	65,96 ± 0,73	70,72 ± 0,58
16	<b>9,26 ± 0,08</b>	5,85 ± 0,09	62,47 ± 0,48	68,32 ± 0,48
17	11 ± 0,08	5,97 ± 0,07	59,7 ± 0,46	65,68 ± 0,44
18	11,33 ± 0,06	3,68 ± 0,03	<b>73,47 ± 0,38</b>	77,15 ± 0,4
19	10,84 ± 0,15	5,82 ± 0,05	63,56 ± 0,35	69,38 ± 0,32
20	11,05 ± 0,02	5,96 ± 0,08	59,13 ± 0,24	65,09 ± 0,19
21	11,14 ± 0	5,63 ± 0,03	61,39 ± 0,27	67,02 ± 0,24
22	10,18 ± 0,21	<b>3,53 ± 0,12</b>	73,41 ± 0,37	76,94 ± 0,25
23	10,63 ± 6,14	3,81 ± 0,06	67,24 ± 0,25	71,05 ± 0,31
24	10,45 ± 0,11	4,11 ± 0,03	70,48 ± 0,43	74,59 ± 0,45
25	11,3 ± 0,04	4,19 ± 0,06	68,83 ± 0,25	73,02 ± 0,22
26	10,5 ± 0,01	5,62 ± 0,09	61,62 ± 0,25	67,24 ± 0,27
27	10,12 ± 0,03	5,22 ± 0,05	62,91 ± 0,21	68,13 ± 0,16

<b>28</b>	10,66 ± 0,13	4,42 ± 0,09	70,49 ± 0,19	74,91 ± 0,14
<b>29</b>	11,27 ± 0,05	5,31 ± 0,06	62,06 ± 0,35	67,37 ± 0,41
<b>30</b>	10,99 ± 0,04	5,34 ± 0,05	62,71 ± 0,29	68,05 ± 0,24
<b>31</b>	10,45 ± 0,04	4,47 ± 0,07	69,4 ± 0,32	73,86 ± 0,28
<b>32</b>	11,3 ± 0,04	4,32 ± 0,1	70,58 ± 0,32	74,91 ± 0,23
<b>33</b>	10,5 ± 0,08	4,63 ± 0,04	66,5 ± 0,28	71,13 ± 0,28
<b>34</b>	10,12 ± 0,06	4,87 ± 0,1	68,39 ± 0,45	73,26 ± 0,5
<b>35</b>	10,66 ± 6,15	4,14 ± 0,1	66,7 ± 0,32	70,84 ± 0,24
<b>36</b>	11,27 ± 0,03	4,1 ± 0,05	66,51 ± 0,24	70,62 ± 0,19
<b>37</b>	10,99 ± 0,02	4,07 ± 0,04	69,58 ± 0,36	73,64 ± 0,33
<b>38</b>	10,07 ± 0,09	4,26 ± 0,05	69,67 ± 0,36	73,93 ± 0,33
<b>39</b>	10,64 ± 0,29	4,72 ± 0,04	68,72 ± 0,27	73,44 ± 0,24
<b>40</b>	10,47 ± 0,09	5,06 ± 0,05	60,38 ± 0,28	65,44 ± 0,23
<b>41</b>	10,69 ± 0,15	6,05 ± 0,13	63,6 ± 0,42	69,65 ± 0,3
<b>42</b>	10,77 ± 0,13	3,59 ± 0,11	68,14 ± 0,25	71,73 ± 0,22
<b>43</b>	10,46 ± 0,07	4,62 ± 0,03	68,59 ± 0,36	73,21 ± 0,33
<b>44</b>	10,89 ± 0,02	4,21 ± 0,07	66,54 ± 0,31	70,75 ± 0,25
<b>45</b>	10,48 ± 0,01	4,56 ± 0,08	71,59 ± 0,31	76,15 ± 0,37
<b>46</b>	11,49 ± 0,01	4,81 ± 0,07	68,5 ± 0,39	73,3 ± 0,33
<b>47</b>	11,02 ± 0,58	4,93 ± 0,11	68,74 ± 0,19	73,68 ± 0,1
<b>48</b>	10,34 ± 0,04	5,77 ± 0,1	66,3 ± 0,39	72,07 ± 0,37
<b>49</b>	9,49 ± 0,01	5,49 ± 0,18	63,42 ± 0,29	68,91 ± 0,29
<b>50</b>	10,49 ± 0,01	5,73 ± 0,08	68,63 ± 0,32	74,36 ± 0,32
<b>Průměr:</b>	<b>11,0</b>	<b>4,9</b>	<b>66,0</b>	<b>71,0</b>