

Vliv obsahu škrobu v pšeničné mouce na vlastnosti těsta

Bc. Marcela Pindáková



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav technologie tuků, tenzidů a kosmetiky
akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Marcela PINĎÁKOVÁ**
Osobní číslo: **T09586**
Studijní program: **N 2901 Chemie a technologie potravin**
Studijní obor: **Technologie a ekonomika výroby tuků, detergentů
a kosmetiky**

Téma práce: **Vliv obsahu škrobu v pšeničné mouce na vlastnosti
těsta**

Zásady pro vypracování:

I. Teoretická část

1. Charakteristika škrobu
2. Vlastnosti pšeničné mouky
3. Požadované vlastnosti pšeničného těsta

II. Praktická část

1. Ve vzorcích pšeničné mouky se známými parametry stanovit obsah škrobu a vlhkosti
2. Výsledky statisticky vyhodnotit a zjistit případné vzájemné vztahy mezi parametry

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] VELÍŠEK, J. *Chemie potravin 1, 2, 3. OSSIS, Tábor 1999.*

[2] DAVÍDEK, J., VELÍŠEK, J. *Analýza potravin, Ediční středisko VŠCHT, Praha, 1992.*

[3] PŘÍHODA, J., SKŘIVAN, P., HRUŠKOVÁ M. *Cereální chemie a technologie I: cereální chemie, mlýnská technologie, technologie výroby těstovin, Ediční středisko VŠCHT, Praha, 2004.*

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 25. února 2011

doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Rahula Janiš, 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 ¹⁾;
- 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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ 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 ³⁾ 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 13. 5. 2011

Prohlášená Marcela

¹⁾ 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.

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce bylo pojednat o vlastnostech škrobu, včetně jeho výroby z jednotlivých surovin. Dále práce popisuje vlastnosti pšeničné mouky a pšeničného těsta.

Praktická část práce se konkrétně zabývá stanovením obsahu vlhkosti a škrobu u jednotlivých druhů mouk. Výsledky byly statisticky zpracovány vícerozměrnou analýzou. Obsah vlhkosti vzorků mouk byl stanovován pomocí referenční metody a průměrná hodnota vlhkosti se pohybovala mezi 15,6 - 16,1 %. Množství škrobu, stanovovaného polarimetrickou metodou dle Ewarse, v jednotlivých vzorcích bylo v rozmezí 68 - 69 %.

Významná pozitivní korelace byla prokázána mezi tažností těsta (L) a indexem nafouknutí (G). Taktéž vysoká pozitivní korelace byla mezi pevností těsta (P) s energetickou silou mouky (W), přičemž tyto parametry jsou ovlivněny množstvím lepkových bílkovin.

Klíčová slova: škrob, amyulóza, amylopektin, využití škrobu, lepek, obilné zrno, reologie pšeničného těsta

ABSTRACT

The aim of this thesis was to discuss the properties of starch, including the production of particular commodities. Further work describes the properties of wheat flour and wheat dough.

The practical part deals specifically with the determination of moisture content and starch in different types of flour. The results were statistically processed by the multi-dimensional analysis. The moisture content of flour samples was determined using the reference method and the average humidity ranged from 15.6 to 16.1%. The amount of starch determined by Ewers polarimetric method, the individual samples ranged from 68 - 69%.

A significant positive correlation was demonstrated between dough extensibility (L) and the inflation index (G). Also, a high positive correlation between the strength of the dough (P) with flour power energy (W), and these parameters are influenced by a number lepkových proteins.

Keywords: starch, amylose, amylopectin, utilization of starch, gluten, cereal grain, rheology of wheat dough

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí své diplomové práce, Mgr. Monice Černé, Ph.D. za odborné vedení a pomoc při psaní diplomové práce, za půjčení odborného studijního materiálu. Poděkování patří i společnosti Penam, a. s. za poskytnutí vzorků a naměřených dat.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské/diplomové práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem citoval(a). V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uveden(a) jako spoluautor(ka).

Ve Zlíně 13. 5. 2011

Prohlašoval Marcela

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 ŠKROB.....	13
1.1 HISTORIE ŠKROBU	13
1.2 CHEMICKÉ SLOŽENÍ A STRUKTURA SLOŽEK ŠKROBU	14
1.2.1 Amylóza	14
1.2.2 Amylopektin.....	15
1.3 TVORBA ŠKROBOVÝCH ZRN A VLASTNOSTI ŠKROBU.....	17
1.3.1 Bobtnání škrobu	18
1.3.2 Mazovatění škrobu.....	18
1.3.3 Retrogradace škrobu.....	19
1.4 KLASICKÉ SUROVINY NA VÝROBU ŠKROBU	20
1.4.1 Brambory.....	20
1.4.2 Pšenice.....	21
1.4.3 Kukuřice.....	23
1.4.4 Žito	24
1.5 PRŮMYSLOVÁ VÝROBA ŠKROBU	26
1.5.1 Výroba bramborového škrobu.....	26
1.5.2 Výroba pšeničného škrobu.....	28
1.5.2.1 Lepek	28
1.5.2.2 Martinův způsob	29
1.5.2.3 Nové postupy výroby pšeničného škrobu.....	30
1.5.3 Výroba kukuřičného škrobu.....	30
1.6 VYUŽITÍ ŠKROBU	31
1.6.1 Potravinářské využití škrobu.....	31
1.6.1.1 Mlékárenský průmysl	31
1.6.1.2 Pekárenský průmysl.....	31
1.6.1.3 Sladidla	31
1.6.1.4 Výroba cukrovinek	32
1.6.1.5 Ostatní využití.....	32
1.6.2 Průmyslové (nepotravinářské) využití škrobu	32
1.6.2.1 Papírenský průmysl.....	32
1.6.2.2 Textilní průmysl.....	33
1.6.2.3 Výroba lepidel.....	34
1.6.2.4 Další využití škrobu	34
2 VLASTNOSTI PŠENIČNÉ MOUKY	35
2.1 OBILOVINY.....	35
2.2 STRUKTURA OBILNÉHO ZRNA	38
2.3 CHEMICKÉ SLOŽENÍ ZRNA	40
2.3.1 Sacharidy.....	40
2.3.1.1 Odbourávání škrobu.....	41
2.3.2 Bílkoviny.....	41

2.3.2.1	Vlastnosti pšeničných bílkovin.....	42
2.3.3	Tuky	43
2.3.4	Vitaminy.....	44
2.3.5	Minerální látky	45
2.3.6	Minoritní složky	45
3	VLASTNOSTI PŠENIČNÉHO TĚSTA.....	46
3.1	HODNOCENÍ KVALITY PŠENIČNÉ MOUKY	46
3.1.1	Tvorba plynu	46
3.1.2	Pekařská síla mouky.....	47
3.1.3	Barva mouky	47
3.1.4	Granulační spektrum mouky	47
3.2	ROZDÍLNÉ VLASTNOSTI PŠENIČNÉ A ŽITNÉ MOUKY	48
3.3	ZÁKLADNÍ SUROVINY NA VÝROBU PŠENIČNÉHO TĚSTA	49
3.4	REOLOGICKÉ VLASTNOSTI TĚSTA	50
3.4.1	Fyzikální podstata tvorby těsta	50
3.4.2	Přístroje k měření reologických vlastností.....	51
3.4.2.1	Farinograf.....	51
3.4.3	Vliv mechanických operací na tvorbu pšeničného těsta	52
3.4.3.1	Výroba těsta	52
3.4.3.2	Hnětení.....	52
3.4.3.3	Kynutí	53
3.4.3.4	Zrání.....	53
3.4.3.5	Tvarování a dokynutí.....	53
3.4.3.6	Pečení.....	53
4	VÍCEROZMĚRNÉ STATISTICKÉ METODY	55
4.1	STANDARDIZACE VÍCEROZMĚRNÝCH DAT	55
4.2	EXPLORATORNÍ ANALÝZA DAT (EDA – EXPLORATORY DATA ANALYSIS)	56
4.3	ANALÝZA HLAVNÍCH KOMPONENT (PCA).....	56
4.3.1	Podstata metody PCA	57
4.3.2	Grafické pomůcky analýzy hlavních komponent.....	58
4.3.2.1	Cattelův indexový graf úpatí vlastních čísel (Scree Plot).....	58
4.3.2.2	Graf komponentních vah, zátěží (Plot Components Weights)	59
4.3.2.3	Rozptylový diagram komponentního skóre (Scatterplot).....	59
4.3.2.4	Dvojný graf (Biplot)	60
4.3.2.5	Graf reziduí jednotlivých objektů.....	60
4.3.3	Řešení problémů v rámci PCA.....	60
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	61
5	CÍL PRÁCE	62
6	METODIKA A MATERIÁL	63
6.1	CHARAKTERISTIKA ANALYZOVANÝCH VZORKŮ	63
6.2	CHEMICKÉ ANALÝZY	64
6.2.1	Stanovení obsahu vlhkosti.....	64
6.2.2	Stanovení obsahu škrobu.....	66

6.3	STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ DAT	68
7	VÝSLEDKY A DISKUZE	69
7.1	STANOVENÍ OBSAHU VLHKOSTI	69
7.2	STANOVENÍ OBSAHU ŠKROBU	69
7.3	STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ DAT	69
7.3.1	Extrémy a odlehlé objekty	69
7.3.2	Základní popisné charakteristiky	76
7.3.3	Grafické zobrazení vícerozměrných dat.....	78
7.3.4	Analýza hlavních komponent (PCA)	79
7.3.4.1	Redukce znaků	79
7.3.4.2	Hledání vazeb a struktury ve znacích a objektech.....	84
7.3.5	Shluková analýza	92
	ZÁVĚR.....	94
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	95
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	100
	SEZNAM OBRÁZKŮ	101
	SEZNAM TABULEK.....	103
	SEZNAM PŘÍLOH.....	104

ÚVOD

Škrob je jako surovina znám už od dob starého Egypta, kde jej lidé získávali zaděláním rozdrčené pšenice neb rýže s vodou a vypíráním vzniklého těsta. Počátek průmyslové výroby pšeničného škrobu se datuje do 16. a 17. století.

Patří mezi nejdůležitější zásobní polysacharidy, je vytvářen fotosyntézou a část se slouží rostlině jako zdroj energie a část se pak ukládá zejména v semenech, hlízách a oddencích.

Škrob je látkou v obilkách i mouce nejhojnější a jeho význam vedle lepku je pro cereální technologii zásadní. Z fyzikálních vlastností jsou nejdůležitější schopnost bobtnání, mazovatění a retrogradace.

K výrobě škrobu se využívá různých surovin. Celosvětově je to nejvíce kukuřice a v Evropě pak brambory a pšenice.

Využití škrobu je rozděleno na oblast potravinářskou a nepotravinářskou. V potravinách se používají hydrolyzáty škrobu, škroby modifikované a substituované. V ČR je tradiční i nepotravinářské využití škrobu, a to v průmyslu textilním, papírenském, na výrobu lepidel apod.

Obilky se skládají z endospermu, klíčku a obalových vrstev. Hmotnostní podíl jednotlivých částí je závislý na klimatických a půdních podmínkách, agrotechnice, hnojení apod. Základní složky zrna jsou sacharidy a bílkoviny. Vlastnosti bílkovin jsou důležité zejména u pšenice, která dokáže s vodou vytvářet pružný gel lepek. Z dalších důležitých součástí zrna jsou lipidy, minerální látky a v malé míře vitaminy.

Hlavní ukazatele pšeničné mouky jsou schopnost tvorby kypřících plynů, pekařská síla mouky, barva a granulace mouky. V pekárenství se nejvíce využívá mouka pšeničná a žitná. Rozdíl mezi nimi je zejména ve složení a vlastnostech bílkovin. Pro běžné pekárenské účely se používá pšenice obecná.

V pekárenské technologii při tvorbě produktů hrají důležitou roli mechanické vlastnosti surovin a poloproduktů. Jejich hodnocení se provádí za využití reologie. Pomocí reologického chování těsta lze určit kvalita výrobku, zpracovatelská i spotřebitelská.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ŠKROB

1.1 Historie škrobu

Škrob znali již Egypťané, kteří jej získávali zaděláním rozdrčené pšenice nebo rýže s vodou a vypíráním vzniklého těsta. Byl nazýván amyllum (= prášek) a používán v kosmetice, medicíně, při úpravě papyru a po rozvaření jako lepidlo. Počátek průmyslové výroby pšeničného škrobu v Evropě spadá do 16. a 17. století, v 18. století začal být též škrob vyráběn z brambor dovezených z Ameriky. Další prudký vzestup výroby v 19. století byl způsoben rozvojem tzv. „průmyslové chemie škrobů“, tj. zpracováním nativního škrobu na širokou škálu výrobků ze škrobu, např. hydrolyzátů, modifikovaných škrobů, škrobových derivátů a technických dextrinů.

V polovině 90. let bylo po celém světě vyráběno 35 - 40 milionů tun škrobu za rok, z toho nejvíce kukuřičného (74 %), tapiokového (10 %), bramborového a pšeničného škrobu (8 %). První škrobárna na výrobu bramborového škrobu na našem území byla postavena roku 1810. Před první světovou válkou u nás bylo celkem 190 malých škrobáren, které tvořily cca 90 % celé výrobní kapacity tehdejšího Rakouska-Uherska. Během první a druhé světové války, rozvoj škrobárenského průmyslu na našem území byl negativně ovlivněn a došlo k prudkému snížení produkce. Po druhé světové válce začala rekonstrukce podniků a po znárodnění v roce 1948 bylo osm škrobárenských závodů u nás a pět závodů na Slovensku.

V současnosti je výroba škrobu soustředěna do tří hlavních škrobáren a to, Amylon (Havlíčkův Brod); Škrobárny Pelhřimov; Lyckeby - Amylex (Horažďovice) [1].

1.2 Chemické složení a struktura složek škrobu

Škrob je obsažen v zrnech obilovin v endospermu. Jeho obsah tvoří asi 60 - 75 % sušiny obilok a toto množství kolísá podle druhů a odrůd. Jeho obsah v mouce, která je tvořena převážně endospermem, je vyšší, a to 75 - 80 % sušiny. Škrob se v obilovinách vyskytuje ve formě škrobových zrn, která se u jednotlivých druhů liší tvarem i velikostí. Škrob není sám o sobě chemickým individuem, je složený ze dvou frakcí – amylozy a amylopektinu [2].

Škrob patří mezi polysacharidy, což jsou vysokomolekulární látky složené z velkého počtu stejných nebo různých molekul monosacharidů. Ty se vzájemně vážou glykosidickými vazbami v přímé nebo rozvětvené řetězce. Takové polymerní cukry mají zcela jiné chemické i fyzikální vlastnosti než běžné monosacharidy či oligosacharidy. Jsou to látky rostlinného nebo živočišného původu. Podle fyziologické funkce je lze rozdělit na rezervní polysacharidy (např. škrob, glykogen, inulin) a na stavební polysacharidy (např. celulóza, hemicelulózy, chitin). Některé jsou ve vodě nerozpustné anebo jen bobtnají, jiné s vodou vytvářejí koloidní roztoky. Koloidní stav poukazuje na zvláště vysokou molekulovou váhu. Kyselou hydrolyzou se štěpí na své monosacharidické složky [3].

Škrob je makromolekulární látka, kterou zelené rostliny vytvářejí fotosynteticky. Část škrobu slouží rostlině jako zdroj potřebné energie a jiná jeho část se ukládá v semenech, hlízách, oddencích jako rezervní látka. Například brambory obsahují 17 - 24 % škrobu, obilniny 50 - 80 % [3].

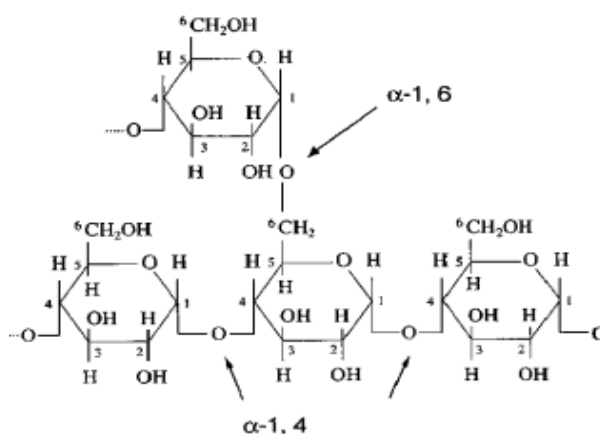
1.2.1 Amylóza

Amylóza je ve studené vodě nerozpustná a v roztoku se barví modře. Molekula je složena z 60 - 300 glukózových jednotek, které se vážou v poloze 1→4 vazbou α -glykosidickou a vytvářejí přímý nerozvětvený řetězec (viz Obr. 1) [3]. Kyselou hydrolyzou se amyλόza štěpí na glukózu působením amylytických enzymů amylyáz.

Molekulová hmotnost klesá a vznikají nízkomolekulární dextriny, které jsou rozpustné ve vodě, ale nerozpustné v alkoholu. Dextriny vznikají také zahříváním škrobu např. při pečení chleba. Při intenzivním záhřevu mohou dextriny hnědnout a karamelizovat. Jsou obsaženy i v pivě, kde vznikly neúplnou enzymatickou hydrolyzou škrobu [4].

1.2.2 Amylopektin

Amylopektin je ve vodě nerozpustný. V horké vodě však mazovatí a vzniklý škrobový maz se jodem za studena barví do červenofialova. Jeho molekula je složena z D-glukózy a má strukturu nerozvětvených řetězců, molekulární váhy 50 000 až 1 000 000. V hlavních i vedlejších řetězcích je spojení D-glukózových jednotek stejné jak u amylozy, ale v místě rozvětvení řetězců je vazba α -(1 \rightarrow 6) glykosidická (viz Obr. 1). Této struktuře nasvědčují volné hydroxylové skupiny metyleterů D-glukózy, jež vzniknou hydrolýzou permetylovaného amylopektinu. Dvě volné hydroxylové skupiny u 2:3:6-tri-O-metyl-D-glukopyranózy prokazují sřetení glukózových jednotek v poloze 1 \rightarrow 4, 2:3-di-O-metyl-D-glukopyranóza prokazuje jednotky hlavního řetězce, na které se v poloze C6 napojují řetězce vedlejší [3].



Obr. 1 Znázornění glykosidických vazeb:

α -1,4 (amyloza, bez větvení)

α -1,6 (větvený amylopektin) [2]

Stupeň polymerace amylopektinu je podstatně vyšší, $50 \cdot 10^3$ - $1\,000 \cdot 10^3$. Z toho vyplývá, že molekulová hmotnost amylozy se pohybuje mezi 10^5 - 10^6 , u amylopektinu mezi 10^7 - 10^8 . Většina nativních škrobů obsahuje 20 - 25 % amylozy a 75 - 80 % amylopektinu. Existují však i rostliny nebo speciálně vyšlechtěné odrůdy s vysokým obsahem amylozy či amylopektinu [1].

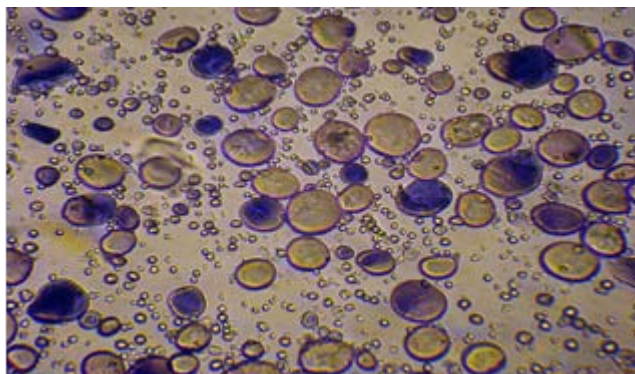
Voskový ječmen či vosková kukuřice, mají pouze cca 5 % amylozy, zatímco amyloječmen a amylokukuřice jí obsahují 60 - 70 %.

Z charakteristických vlastností amylozy je rozpustnost v horké vodě a naopak její vylučování z vodného roztoku ve formě bílého prášku retrogradací po určité době stání. V důsledku spirálové formy řetězce poskytuje s jodem modré zbarvení. Dá se pouze málo esterifikovat kyselinou fosforečnou a obsah fosforu se pohybuje v rozmezí cca 0,04 - 0,07 %. Amylopektin vytváří s horkou vodou relativně stabilní vysoceviskózní koloidní roztoky až mazy, které se jodem barví červenofialově. Obsah kyseliny fosforečné je též podstatně větší než u amylozy (0,2 % fosforu) [1].

1.3 Tvorba škrobových zrn a vlastnosti škrobu

Škrob se vyskytuje v zrně a v mouce ve formě škrobových zrn (viz Obr. 2). Velikost a tvar zrn jsou různé a jsou charakteristické pro škroby z vyzrálých zrn každé obiloviny. Škrobová zrna se vytvářejí během postupu zrání obilky. S postupným vyzráváním se jednak zvětšují makromolekuly všech biopolymerů tedy i amylózy a amylopektinu, jednak se dotváří jejich struktura. Uspořádání škrobového zrna je obdobou krystalové mřížky. Toto krystalické uspořádání představuje jen asi 30 % škrobového zrna, zbytek je neuspořádaný. Krystalické uspořádání se předpokládá jen u amylopektinu.

Větvený amylopektin vytváří postupně bohatší „keřičky“, které mají délku 5 - 7 nm a během zrání dále „rostou“ jen do šířky. Navzájem vedle sebe i za sebou propojené keřičky vytvářejí růstové kruhy. „Tloušťka“ jednoho kruhu se předpokládá od 120 do 400 nm [2].



Obr. 2 Škrobová zrna [5]

Škrob je látkou v obilkách i mouce nejhojnější a jeho význam je vedle pšeničného lepku pro cereální technologii zcela zásadní [2]. Je to látka hygroskopická, takže jeho rovnovážná vlhkost je závislá na relativní vlhkosti okolního prostředí. Za normálních podmínek dosahuje u obilných škrobů 14 % a u bramborového škrobu 21 %. Z toho 8 - 11 % tvoří pevně vázaná voda krystalická, zbytek je podstatně slaběji vázaná fyzikálně adsorbovaná voda a voda meziprostorová (kapilární) [1].

Z fyzikálních vlastností škrobu jsou nejvýznamnější schopnost bobtnání, mazovatění a retrogradace.

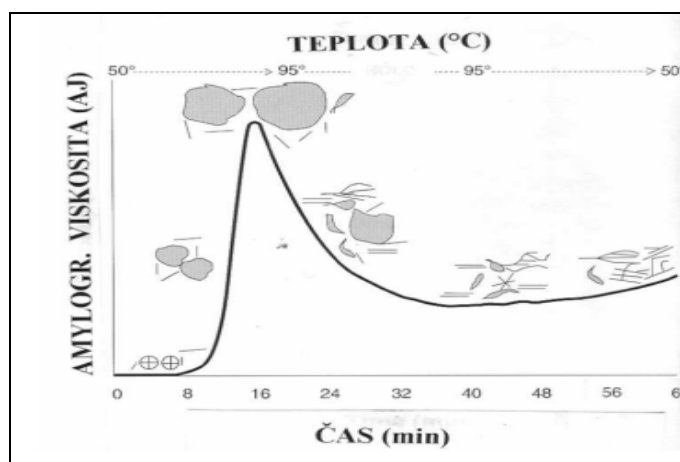
1.3.1 Bobtnání škrobu

Škrob, resp. škrobová zrna, jsou ve vodě nerozpustné. Ve studené vodě mírně bobtnají, přičemž přijímají asi 30 % vody (vztaženo na hmotnost škrobu). Bobtnání však nabývá na intenzitě se zvyšující se teplotou a pokračuje i při stejné teplotě s časem. Při jedné teplotě ihned nemazovají všechny škrob, ale úplné zmazovávání je dokončeno až v určitém rozmezí teplot a po určité době. Zrno postupně přijímá vodu a posléze začne ztrácet svou původní strukturu [2].

1.3.2 Mazovávání škrobu

Při zahřívání suspenze škrobu ve vodě pomalu pokračuje adsorpce a mírné bobtnání zrn. Až do teploty 60 °C, která je nazývána počáteční teplota mazovávání, zůstává celistvost škrobových zrn neporušena a děj je opět reverzibilní. Po dosažení této teploty se velmi intenzivně rozrušují mezimolekulární vodíkové můstky, zrna začínají prudce zvětšovat svůj objem a uvolněná amyulóza difunduje do roztoku. Při dalším zvyšování teploty hydratace pokračuje, nabobtnalá zrna ztrácejí svoji integritu praskáním, roztrháváním (viz Obr. 3). Tento proces, který zasáhne v intervalu 10 - 15 °C postupně všechna přítomná škrobová zrna, se nazývá mazovávání škrobu. Tento děj je již irreverzibilní [1].

Když zmazovají veškerý nerozpustný škrob, začíná viskozita při neustálém míchání směsi klesat. Pokud se vzniklý gel nechá chladnout, začnou se spolu zpětně asociovat molekuly amyulózy a amylopektinu a viskozita se zvyšuje [2].



Obr. 3 Změny škrobových zrn při zmazovávání během zahřívání [2]

Mazovávání škrobu dále ovlivňuje pH prostředí, přítomnost dalších složek, např. solí, tuků, bílkovin, a důležitou roli také hraje poměr škrob: voda [1]. Teploty mazovávání jsou u

různých škrobů rozdílné. Zpravidla se pohybují mezi 55 a 70 °C. Mezi škroby s nejnižšími teplotami mazovatění patří žitný škrob (viz Tab. 1). Škrobový maz je viskózní, téměř čirá kapalina.

V pekařském těstě ovšem v průběhu pečení nedojde k úplnému mazovatění škrobových zrn. Dochází především k bobtnání zrn a jen jejich povrch může pravděpodobně zmazovatět, neboť k úplnému zmazovatění není v těstě dostatek vody [2].

Tab. 1 Teploty mazovatění vybraných škrobů [1]

Škrob	Teplota mazovatění (°C)		
	Počáteční	Střední	Konečná
Pšeničný	58	61	64
Kukuřičný	62	67	74
Bramborový	59	64	68
Tapiokový	61	66	71
rýžový	68	68	78

1.3.3 Retrogradace škrobu

Škrobové gely, pasty a koloidní roztoky nejsou v termodynamické rovnováze a po určité době stání dochází ke změnám jejich struktury a reologických vlastností. Důvodem je další tvorba intermolekulárních vodíkových vazeb, přednostně u amylozy, velmi málo u amylopektinu. Tento děj se v případě škrobových disperzí nazývá retrogradace a vede k tvorbě dvoufázového systému pevná látka-kapalina. Na rychlost a rozsah retrogradace má největší vliv obsah a polymerační stupeň amylozy přítomné v systému, teplota, pH, obsah anorganických solí, povrchově aktivních látek, apod. U cereálních škrobů se retrogradace projevuje podstatně více než u škrobů hlízových [1].

1.4 Klasické suroviny na výrobu škrobu

Dosavadní hlavní škrobnaté plodiny jsou škrobnaté zrniny, brambory a tapioka. V celosvětovém měřítku je nejvýznamnějším zdrojem škrobu kukuřice (podíl kukuřičného škrobu činí 50 %), v Evropě pak brambory (asi 25 %) a pšenice (asi 25 %) [6].

1.4.1 Brambory

Brambory pocházejí z Jižní Ameriky, konkrétně předchůdce našeho lilku bramboru z Chile. Do Evropy byly přivezeny v 16. století. V Čechách se pěstování brambor datuje do 17. století, ale opravdové rozšíření pěstování můžeme pozorovat až do 19. století [7]. Do Čech byly brambory dovezeny jednak z Německa, dále z Irska a z Holandska [8].

Brambory patří do čeledi lilkovitých (*Solanaceae*), rodu lilek (*Solanum tuberosum*), který zahrnuje asi 2000 druhů [9]. Pěstují se převážně na severní polokouli v Euroasii a v Severní Americe. Na Jižní polokouli se pěstují méně. Rozsah pěstování v určité zemi určují především přírodní podmínky, využití brambor v národním hospodářství a ekonomické podmínky [9].

Na brambory pro výrobu potravinářských výrobků jsou kladeny různé požadavky v závislosti na druhu výrobku [10]. Průmyslové brambory představují odrůdy, které jsou určeny k výrobě škrobu a lihu [11]. Tyto brambory musí mít vysoký obsah škrobu (nad 17 %), velká škrobová zrna a vysoký výnos [10]. Škrob i líh tvoří důležitou výchozí surovinu pro řadu potravinářských výrob, vedle dalšího využití v národním hospodářství. K výrobě škrobu se i lihu se využívají především tzv. průmyslové brambory, které se ke konzumu nehodí pro vysoký obsah sušiny [12].

Bramborová hlíza obsahuje značné množství vody. Množství dalších látek podléhá variabilitě, která je závislá na odrůdě a prostředí růstu [10]. Brambory určené pro zpracovatelský průmysl obsahují v průměru 18 % škrobu v čerstvé hmotě [13]. Škrobová zrna se nacházejí hlavně parenchymu a ve středně velkých hlízách [14]. Mezi další látky obsažené v hlízách patří polysacharidy (vláknina, hemicelulóza, pektiny, apod.), malé množství sacharidů, dusíkatých látek (bílkoviny, aminokyseliny, amidy, anorganické sloučeniny) [10]. Vitaminy jsou velmi důležitou složkou brambor a činí z nich významnou potravinu. Kolísání vitaminů je odvislé mezi jinými od odrůdy a klimatických podmínek [15].

1.4.2 Pšenice

Pšenice je jednou z nejstarších kulturních plodin. Začátky jejího pěstování jsou spojeny se vznikem zemědělství. Nejstarší nálezy jsou z období 8 000 - 7 500 let před n. l. a vztahují se k pěstování pšenice jednozrnky a dvouzrnky [10]. Tato obilnina se rozšířila na většinu severní i jižní polokoule hlavně z oblasti přední Asie, případně severní Afriky [16].

Pšenice obecná je jednou z nejrozšířenějších plodin ve světě i u nás [10]. Patří do čeledi lipnicovité (*Poaceae*) [16].

Hmotnostní podíl jednotlivých částí zrna je rozdílný a proměnlivý vlivem vnitřních a zejména vnějších faktorů, jako je odrůda, půdní a klimatické podmínky, hnojení, agrotechnika apod. Hlavní podíl jednotlivých složek obsažených v pšenici zaujímají sacharidy (viz Tab. 2).

Z dalších látek jsou to bílkoviny, které jsou u pšenice specifické tím, že vytvářejí běžně s vodou pružný gel, tzv. lepek.

Tuky jsou v obilce zastoupeny v malém množství, a to především v klíčku a v aleuronové vrstvě. Jsou to olejovité kapaliny, které obsahují nasycené mastné kyseliny (kyselina olejová, kyselina linolová, kyselina linolenová) [15].

Tab. 2 Obsah jednotlivých složek v obilovinách (v hm. % při 15 % vlhkosti obilí) [15]

Obiloviny, zrniny	Minerálie	Bílkoviny	Tuk	Sacharidy	Vláknina
Žito	1,7	9,0	1,7	70,7	1,9
Pšenice durum	1,7	13,2	2,4	65,0	2,5
Ječmen s pluchami	2,5	9,5	2,1	67,0	4,0
Oves s pluchami	3,2	10,3	4,8	56,4	10,3
Kukuřice	1,5	11,0	4,4	67,2	2,2
Proso loupané	1,8	11,5	3,9	68,1	2,3
Rýže paddy	4,0	6,9	1,6	68,4	8,9

Pro produkci škrobu mohou být využity vybrané odrůdy pšenice obecné s vysokým obsahem škrobu o velikosti škrobových zrn 10 až μm . Důvody pro využití pšenice k produkci škrobu tkví v příznivých klimatických podmínkách střední Evropy pro produkci pšenice. Přitom se vedle škrobu dá z pšenice získat i lepek, který je na světovém trhu velmi ceněn. K výrobě škrobu se používá pšenice potravinářská a běžným mlecím procesem se připravuje mouka s obsahem popela 0,6 %.

U nás se ve škrobárnách používají běžně pěstované odrůdy pšenice (viz Tab. 3), mezi kterými převládají odrůdy potravinářské jakostní skupiny elitní (E) a kvalitní (A) a vůbec se na zpracovanou odrůdu nebere zřetel [16].

Tab. 3 Přehled odrůd vhodných pro produkci škrobu [16]

Odrůda	Rok povolení	Jakostní skupina	Rajonizace oblasti	Vlastnosti
Siria	1994	B	Bram. + obil. oblast	Pozdní, dobrý zdr. stav
Estica	1995	C	Do všech oblastí	Pozdní, výnosná odrůda
Versailles	1997	C	Všechny, zvláště marinální	Polopozdní intenzivní odrůda
Contra	1998	C	Střední polohy brambor. + bram.-ovesné	Polopozdní, výnosově stabilní
Samara	1995	C	Chladnější bramb. oblast	Polopozdní, výnosná odrůda
Šárka	1997	B	Řepařská + bram. oblast	Poloraná, vysoké a stabilní výnosy

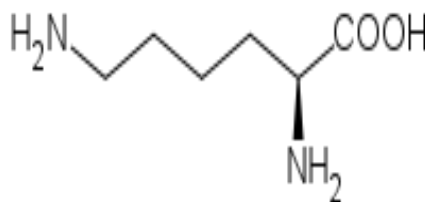
1.4.3 Kukuřice

Kukuřice pochází ze Střední a Jižní Ameriky, kde ji pěstovali Aztékové, Mayové a Inkové. Její stáří se odhaduje na 5 600 let. V současné době je rozšířená po celé zeměkouli. K nám ji údajně přivezli Romové a Turecka a Rumunska v 17. století. Říkalo se jí turecká pšenice nebo turecké žito, z čehož pravděpodobně zůstal na Moravě krajový název „turkyně“ [10].

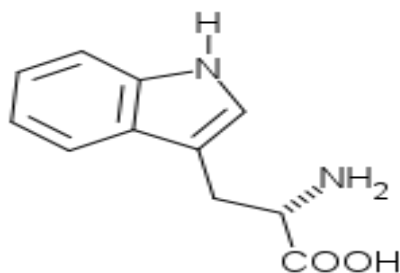
Kukuřice patří mezi nejvýznamnější světové obilniny. Pěstuje se pro zrno, pro přímý konzum, ke konzervaci a také jako silážní plodina [17].

Kukuřice je rostlina, kterou systematicky řadíme do čeledi lipnicovité (*Poaceae*) a skupiny kukuřicovitých (*Maydeae*), společně se dvěma druhy amerického původu (*Tripsacum*, *Euchlaena*) a pěti druhy orientálního původu (*Coxi*, *Sclerachne*, *Polytoca*, *Chinonache*, *Trilobachne*). Většina skupin se dělí na nižší jednotky podle barvy nebo tvaru zrna a podle barvy pluch na větenech [18]. Kukuřice kvete od července do září. Je to teplomilná, slunná rostlina a dorůstá výšky 150 - 200 cm. Lodyhy má plné, hladké, lysé a jednoduché [19].

Kukuřičné zrno má ze všech obilovin nejvyšší energetickou hodnotu. Má vysoký obsah škrobu a také až 5 % tuku. Tuk se skládá převážně z nenasycených mastných kyselin, kyseliny linolové a olejové. V malém množství se v něm nachází také kyselina palmitová a stearová [10]. Kukuřice má nízký obsah dusíkatých látek, jen asi 9 - 9,5 %. Převažují zásobní bílkoviny zein (prolamin) a gluteniny, které mají nízkou biologickou hodnotu, mají málo lyzinu (viz Obr. 4) a tryptofanu (viz Obr. 5).



Obr. 4 Vzorec lyzinu [20]



Obr. 5 Vzorec tryptofanu [20]

Obsah hrubé vlákniny je nízký (asi 2 %). Obsah minerálních látek je, v porovnání s jinými obilovinami, také nízký (asi 1,4 %) [10].

Z minerálů je to draslík, fosfor, hořčík, mangan, železo a zinek. Z vitaminů je nejhojněji zastoupena skupina B (B1, B3, B5, B9) [21]. Nízký je také obsah vápníku. Odrůdy se žlutými zrny mají vyšší obsah β -karotenu (provitamin A) a obsahují také další žluté pigmenty, například xantofyl a zeaxantin [10].

Pro výživu lidí se vyrábí kukuřičná mouka a krupice, která se využívá například pro výrobu corn-flakes. Z kukuřičného zrna se vyrábí alkohol, škrob, invertní cukr a z klíčků se získává kukuřičný olej [10]. V ČR se nejčastěji kukuřice pěstuje na siláž, dělenou sklizeň, a v posledních letech pro konzervaci zrna. Pěstuje se nejen jako objemná píce ke krmení, ale i do krmných směsí, na zrna i k potravinářským účelům. Při využití kukuřice na siláž je nejvhodnější ji sklízet ve voskové zralosti. V této fázi jsou zrna značně tvrdá a při silážování se nerozloží [21].

1.4.4 Žito

Žito je prastarou tradiční plodinou našeho zemědělství. Mnohá staletí, ba celá tisíciletí sloužilo jako základní existenční potravinu nejen našemu venkovskému lidu, ale i obyvatelstvu tvořících se měst, ve formě nejrůznějších druhů žitného chleba [22].

Žito má ze všech druhů drobnozrnných obilnin nejmenší nároky na pěstitelské agroklimatické podmínky [22]. Žitu vyhovují půdy lehčí, hlinitopísčité až písčitohlinité. Snáší také půdy mělké, kyselé a podzolované. Vyžaduje dostatek vláhy a daří se mu v horších klimatických podmínkách vyšších oblastí. Snáší i silné mrazy a chlad [23].

Hlavní pěstitelské pásmo se táhne od Atlantického oceánu přes střední Evropu, Rusko až k Tichému oceánu. Největšími producenty žita jsou Rusko, Německo, Polsko a Švédsko [24].

Žito obsahuje jen asi 9 % dusíkatých látek, z toho většinu tvoří zásobní bílkoviny gliadin (prolamin) a gluteniny [10]. Obsah bílkovin se u našich odrůd pohybuje v průměru okolo 11 - 12 %. Rozdíly v obsahu bílkovin mezi jednotlivými odrůdami jsou velmi nepatrné [24]. Hlavní živinou žitného zrna je škrob, ale obsahuje také další polysacharidy - xylany a arabinoxylany v podobě žitných slizů. Hrubá vláknina představuje asi 2 %, tuk asi 1,4 % a minerální látky asi 1,8 % [10].

Žito je po pšenici druhou nejdůležitější chlebovinou. Používá se hlavně v průmyslu potravinářském. Poskytuje výbornou mouku na chléb, který je velmi výživný, sytý, zůstává dlouho vláčný a pro svůj obsah kyselin má povzbuzující vliv na zažívání. Žitná mouka je rovněž základní surovinou pro výrobu perníku a perníkového zboží. Žitné slámy se používá ke stlaní, k výrobě papíru a jiného spotřebního zboží [24]. V Kanadě a USA se vyrábí žitná whisky. Ke krmným účelům se žito užívá jen omezeně, má nižší výživnou hodnotu, hořkou chuť, nevhodné dietetické vlastnosti a obsahuje antinutriční látky. Z antinutričních látek se v žitu vyskytují inhibitory proteáz a alkylresorcinol, arabinoxylany. Tyto polysacharidy zvyšují viskozitu střevního obsahu a tím omezují pohyblivost substrátů, trávicích enzymů i emulgujících žlučových kyselin. Využitelnost klesá u všech živin, nejvýrazněji u tuků a lipofilních vitaminů. Žito se více uplatňuje jako časně jarní zelené krmení [10].

1.5 Průmyslová výroba škrobu

Škrob se v pravém slova smyslu nevyrábí, neboť si jej rostliny vyrábějí samy bez lidského zásahu. Jde tedy o izolaci (separaci) škrobu z různých, na škrob bohatých částí průmyslových plodin. Komerční (technický) škrob je produkt, který vedle amylozy a amylopektinu obsahuje i další látky, nečistoty, jejichž maximální přípustné množství je stanoveno národními normami [1]. Technologie izolace škrobu z jednotlivých surovin se liší vzájemně v první fázi uvolňování škrobu z hmoty, následující další technologické postupy vykazují společné rysy [15].

1.5.1 Výroba bramborového škrobu

Základní surovinou pro výrobu jsou bramborové hlízy. Zpracovávat se mohou pouze brambory, které jsou zdravé, tzn. mechanicky nepoškozené, bez mikrobiální kontaminace, a s obsahem škrobu 19 ± 1 % (viz Tab. 4) [1].

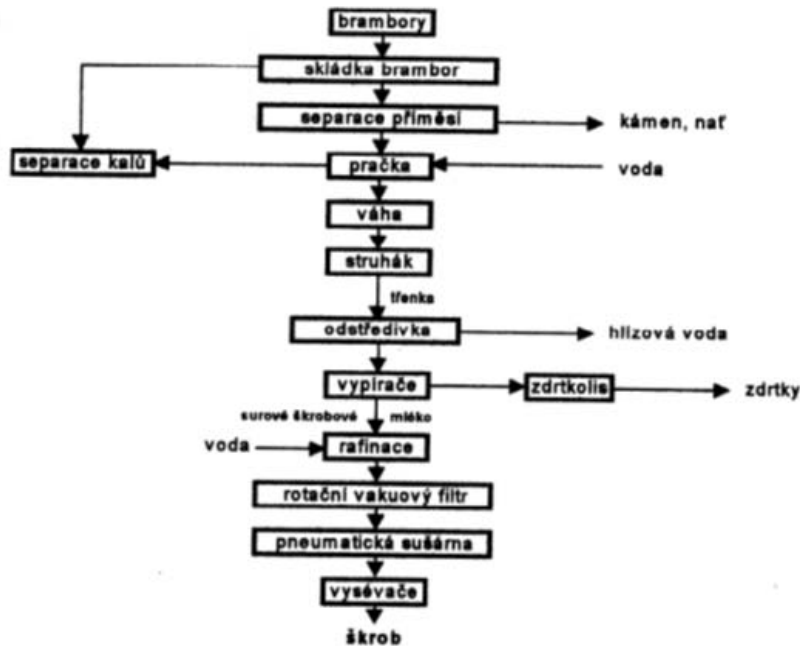
Tab. 4 Průměrné nutriční složení bramborové hlízy [1]

Látka	Obsah (%)	Rozmezí (%)
Voda	75,0	63 – 87
Škrob	19,0	8 – 30
Bílkoviny	3,0	0,7 – 4,7
Vláknina	1,5	0,9 – 2,5
Popel	1,3	*
Rozpustné sacharidy	1,1	*
Tuk	0,2	*

* zdroj hodnoty neuvádí

Brambory jsou skladovány na skládkách v množství odpovídajícím provozní zásobě na 5 - 10 dnů. Odtud jsou plavicími kanálky dopravovány do škrobárny a po cestě jsou zbavovány hrubých nečistot v různých typech lapačů kamene a chrástu.

Konečné dočištění se provádí ve žlabové hřeblové pračce [1]. Jejím úkolem je odstranit nečistoty na slupce, které nebyly odděleny již při plavení. Z pračky jsou brambory dávkovány do struháku.



Obr. 6 Schéma výroby bramborového škrobu [1]

Struhák brambory drtí na jemnou třenku, která musí mít nejméně 86 % škrobu uvolněného z buněk. K rozdělení třenky na tekutou a tuhous část (vypírání) se nejčastěji používá odstředivka. Surové škrobové mléko po opuštění vypírače obsahuje kromě škrobu, plodové vody, vody použité při zředování, také podíl jemné vlákniny, který prošel sítí vypíračů [15]. K rafinaci se používá celá řada zařízení od různých výrobců, které pracují různým separačním principem. Jedná se o rafinační žejbra, rafinační centrosíta, oblouková síta, lavéry a rafinační odstředivky. Rafinované škrobové mléko má koncentraci cca 25 % a je důležité je předsušit [1].

Sušení škrobu se provádí teplem v sušárnách. K předsušení se používá vakuový filtr, tj. horizontálně položený válec z děrovaného plechu a s plnými čely. Sušení probíhá v proudu horkého vzduchu, který stoupá sušící rourou vzhůru, přičemž se škrob intenzivně ohřívá a rychle vysouší, aniž by došlo k narušení škrobových zrn (viz Obr. 6).

Suchý škrob vycházející ze sušárny není ještě v takové formě, aby mohl být pytlován a dále expedován. Ve škrobové moučce se vyskytují drobné hrudky, které se tvoří v sušárně, dále i jistý podíl škrobové krupice. Suchý škrob se proto musí vysévat a po té je vysátý škrob pytlován do papírových pytlů [15].

1.5.2 Výroba pšeničného škrobu

Základní surovinou je pšeničná mouka, jejímž nejdůležitějším parametrem pro škrobárenské zpracování je kvalita bílkovinné složky (lepku). Dále by mouka měla obsahovat co nejvyšší podíl frakce A - škrobu (zrna > 10 μm) málo mechanicky poškozených škrobových zrn a co nejméně ztrátových položek, tzn. ve vodě rozpustných anorganických (popel) a organických látek a dále i vlákniny (otruby) [1].

Nejvýhodnější je technologie zpracování pšenice, neboť vedle škrobu se získává i pšeničný lepek, bílkovina velmi vhodná pro potravinářský průmysl [15].

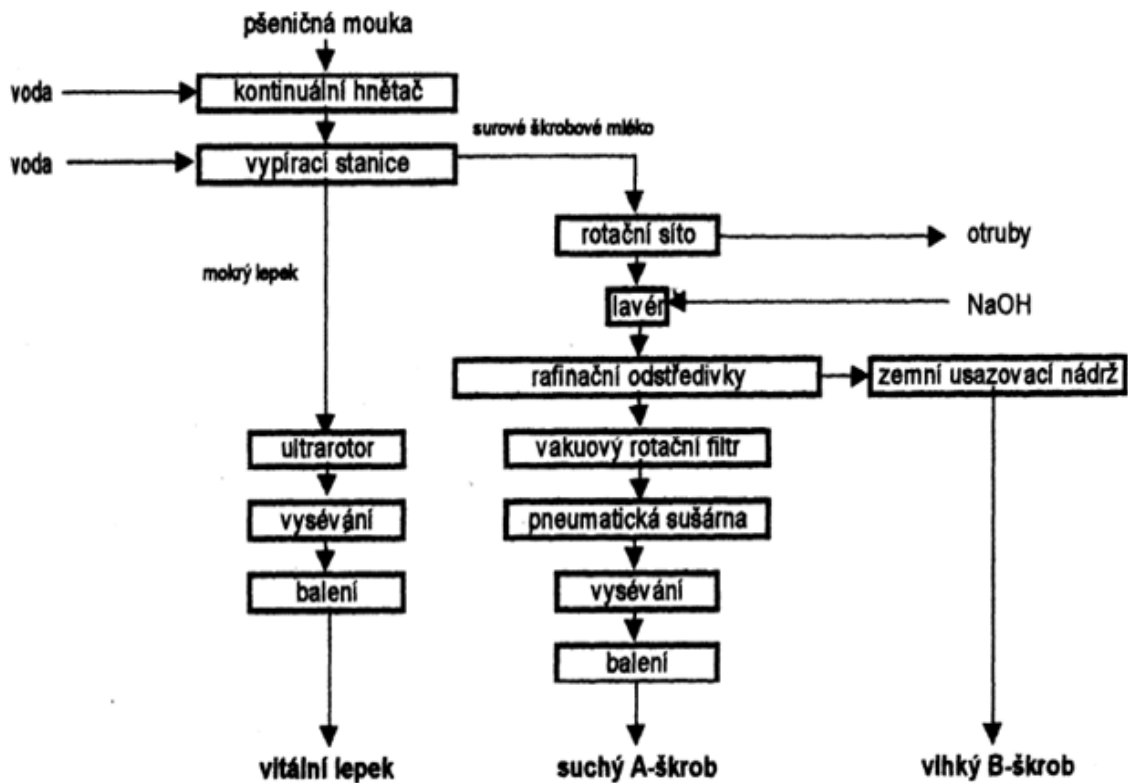
1.5.2.1 Lepek

Lepek (gluten) je rostlinná bílkovina obsažená v obilovinách, jako je pšenice, žito, ječmen a oves. Intoleranci vyvolává vlastně jen část lepku, v pšenici se nazývá gliadin, v žitu sekain, v ječmeni hordein a v ovsu avenin. Lepek není přítomen v rýži, kukuřici, sóji, pohance a prosu [25].

Pšeničný lepek je pružný gel. Lze jej jednoduše izolovat vypíráním proudem vody, přičemž se postupně vyplavují látky rozpustné ve vodě a škrob a po určité době zůstává substance, kterou lze nazvat „mokrý lepek“. Lepek je charakteristický svou tažností, pružností a schopností bobtnat ve zředěném roztoku kyseliny mléčné. Míra těchto jeho vlastností předurčuje do značné míry vlastnosti těsta.

Vypraný lepek je složen průměrně z 90 % bílkovin, 8 % tuků a 2 % cukrů v sušině [2]. Za dvě základní a klíčové složky lze považovat gliadin a glutenin. Gluteninová frakce představuje asi 40 % celkového obsahu bílkovin a je považována za rozhodující faktor, který ovlivňuje viskoelastické vlastnosti při výrobě těsta [15].

Denaturace lepku nastává při teplotě nad 60 °C a při záhřevu na 70 °C dojde ke snížení rozpustnosti lepkových frakcí [15].

1.5.2.2 *Martinův způsob*

Obr. 7 Výroba pšeničného škrobu (Martinův způsob) [1]

Klasická technologie výroby (izolace) pšeničného škrobu, tzv. Martinův způsob, je dosud jedinou technologií používanou v ČR (viz Obr. 7). Jde o vypírání škrobu z hustého těsta. Mouka z mlýnů je do škrobárny dopravována nejčastěji autocisternami a zde je pak skladována v silech. Odtud je dopravována pneumaticky, pásovými dopravníky či samospádem přes váhu do zásobní manipulační nádrže nad hnětačkou. Vlastní hnětení se provádí v kontinuálních pekařských hnětačkách. Následuje vypírání těsta vodou, jehož cílem je oddělení lepku od škrobu a vlákniny (otrub). Při rafinaci je ze surového škrobového mléka nejprve na rotačních konických sítích oddělována vláknina, která se pak používá jako cenné krmivo. Dokončení rafinace se provádí na rafinačních odstředivkách. Rafinované škrobové mléko obsahující A - škrob je dále zpracováno obdobně jako při výrobě škrobu bramborového, tzn. předsušeno na rotačních vakuových filtrech a po usušení v pneumatické sušárně a vysévání jako finální produkt- suchý pšeničný škrob [1].

1.5.2.3 Nové postupy výroby pšeničného škrobu

Nové postupy výroby pšeničného škrobu jsou založeny na dekantacím dělení tzv. řídkého těsta. Na tomto principu pracuje například proces Raisiho, proces Weipre a procesní linie Tricanter s mixérem těsta a homogenizátorem [15].

1.5.3 Výroba kukuřičného škrobu

Nejvíce rozšířený je tzv. kyselý, teplý a uzavřený technologický způsob, při kterém se vyčištěné kukuřičné zrna nejprve protiproudově máčí v roztoku kyseliny siřičité (0,2 %) po dobu 48 hodin při teplotě 50 °C. Vzniklý kukuřičný výluh se zahušťuje na cornsteep (součást fermentačních půd). Nabobtnalé zrna se vede na hrubý drtič. Drť je po odseparování klíčků jemně mleta a je z ní vypírán škrob. Sušené škrobové mléko se podrobuje vzhledem k vysokému obsahu bílkovin důkladné rafinaci a rafinovaný kukuřičný škrob se dále předsouší a suší [1].

Při izolaci škrobu z kukuřičného zrna se získávají další cenné vedlejší produkty, a to gluten, vláknina, výlisky, slupky, které se většinou používají jako suché krmné kukuřičné směsi [15].

1.6 Využití škrobu

Podle současných odhadů se z celkové produkce výrobků ze škrobu spotřebuje 50 - 70 % v rámci výroby potravin, zbytek se uplatňuje v mnoha dalších průmyslových odvětvích. Využití škrobu lze rozdělit na potravinářskou a nepotravinářskou oblast [1]. V ČR se tradičně vyrábí škrob bramborový (cca 70 %) a škrob pšeničný (cca 30 %) o celkovém objemu 40 - 50 tisíc tun za rok. [16].

1.6.1 Potravinářské využití škrobu

V potravinách mají největší použití hydrolyzáty škrobu, modifikované škroby a škroby substituované. Z amylozy jako produktu frakcionace škrobu (tzn. rozdělení škrobu na amylozu a amylopektin) se vyrábějí jedlé obaly potravin, dextriny se uplatňují převážně mimo potravinářské odvětví [1].

1.6.1.1 Mlékárenský průmysl

Mlékárenství je u nás největším spotřebitelem potravinářských modifikovaných škrobů. Největší oblastí je v současnosti výroba sušených mléčných výrobků a instantních směsí, kde se uplatňují zejména škroby modifikované. V tomto případě jsou požadavky směřovány na schopnost vázat vodu a zahušťovat [12].

1.6.1.2 Pekárenský průmysl

Mlýnskopekárenský průmysl představuje perspektivně hlavního odběratele potravinářských škrobů, a to zejména jako vazných látek do těst [12]. Jako zlepšovací přísada do pekařsky slabých mouk našly uplatnění oxidované škroby se zvýšeným obsahem aldehydických skupin, které zvyšují elasticitu lepkové složky. Pro zahušťování náplní koláčů a buchet se používá termicky modifikovaný pšeničný škrob ve směsi s nativním nebo mírně odbouraným kukuřičným škrobem [1].

1.6.1.3 Sladidla

Do skupiny sladidel patří všechny druhy sirupů, které obsahují nižší dextriny, oligosacharidy maltózu a glukózu v různých poměrech a konečný produkt štěpení glukózu. Hloubka zcukření se vyjadřuje tzv. dextrózovým ekvivalentem (DE) jako stupeň zcukření [15].

1.6.1.4 Výroba cukrovinek

Při výrobě cukrovinek typu želé je možno nahradit oxidovaným škrobem cca 30 % želatiny. Pro čisté škrobové želé je jednou ze surovin hydrolyzovaný kukuřičný škrob. Obdobně jsou jako suroviny pro výrobu fondánu a kandytů využívány škrobové sirupy [1].

1.6.1.5 Ostatní využití

Tukový průmysl používá modifikované škroby v oblasti výroby dehydratovaných potravin. Škroby zde působí jako kalicí a zahušťovací prostředky v práškových nápojích, vážou vodu v suchých polotovarech na domácí pečivo apod. [12]. V cukrovarnictví lze termicky modifikovaný bramborový škrob a karboxymetyler škrobu použít při čištění cukerných šťáv. K omezení tvrdnutí cukrové moučky se do ní přidává cca 0,5 % termicky modifikovaného škrobu [1]. V mrazárenství působí modifikované škroby jako nosiči stability ovocných krémů a zahušťovadla hotových smažených jídel [12].

1.6.2 Průmyslové (nepotravinářské) využití škrobu

V České republice je tradiční nepotravinářské využití škrobu. Přírodní nebo modifikovaný škrob je využíván v papírenství, textilním průmyslu, jako pojivo při výrobě stavebních desek, při výrobě slévárenských forem, při těžbě ropy apod. [26]. Škrobárenský průmysl produkuje buď „nativní škroby“ (vyrobené bez úprav fyzikálně-chemických vlastností), nebo výrobky ze škrobu, tedy „deriváty škrobu“ (úprava fyzikálně-chemických vlastností) [15]. Novou možností využití je výroba biodegradabilních plastů. Škrob je používán buď jako plnidlo do plastů nebo jako kopolymer zejména s polyetylenem nebo polypropylenem. V současné době se granulát škrobového kopolymerizátu dováží z Itálie, ale připravuje se již česká produkce. Plochy určené k pěstování škrobových plodin k nepotravinářskému využití škrobu od roku 2000 pravidelně stoupají [26].

1.6.2.1 Papírenský průmysl

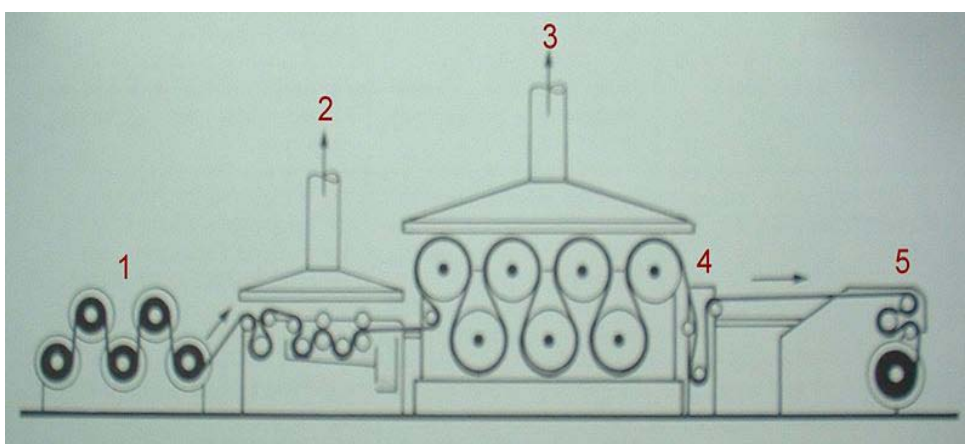
Pro klížení ve hmotě (přídavek před tvorbou listu) se používají buď suché nativní škroby a oxidované škroby nebo roztok ionogenních škrobů.

Tzv. postřik během tvorby listu se provádí rozprašováním suspenze nativního pšeničného či kukuřičného škrobu nebo škrobů modifikovaných se sníženou teplotou mazovatění.

Mírně degradované nebo slabě oxidované hydroalkylškroby jsou součástí pigmentů pro natírání papíru [1].

1.6.2.2 Textilní průmysl

Pro tzv. šlichtování osnov, tzn. úpravu povrchu bavlněných a viskózových nití před vlastním tkaním, se používají oxidované škroby a nízkosubstituované hydroalkyletery škrobu (viz Obr. 8). Pro konečnou úpravu textilií, tzv. apretaci, se používají nativní škroby, dextriny a termicky upravené oxidované škroby nebo nerozpustné komplexy škrobů se solemi čtyřmocných kovů [1].



Obr. 8 Šlichtovací stroj

(1. Stojan; 2. Šlichtovací ústrojí; 3. Sušící ústrojí; 4. Dělicí pole; 5. Navíjecí ústrojí) [5]

Šlichtovací stroj má čtyři části. V první části je stroj pro 4 - 16 předlohových osnovních váľů. V další šlichtovací a ůdímací ústrojí, které smáčí osnovy v ohřáté šlichtě a ůdíme přebytečnou tekutinu. Třetí část sestává z 3 - 15 bubnů vyhřívanou párou o tlaku až $50 \text{ N} \cdot \text{cm}^{-3}$.

U moderních strojů bývá na sušící ústrojí napojeno zařízení na rekuperaci tepla, které vede sálající horký vzduch zpět k sušícím bubnům. Čtvrtá část je dělicí pole a má za úkol oddělit od sebe nitě jednotlivých předlohových váľů. Poslední část je navíjecí ústrojí, spojuje nitě z jednotlivých předlohových váľů do jedné osnovy, kterou navíjí na tkací váľ [5].

1.6.2.3 Výroba lepidel

Sortiment lepidel na bázi škrobů oxidovaných, termicky upravených, acetátu škrobu apod., ale především technických dextrinů, je velmi široký.

Vyráběna jsou jak tekutá, tak suchá lepidla, kdy jsou k výše uvedeným typům škrobů přidávány různé látky anorganické (např. NaOH, borax, chlornan sodný) nebo organické (např. glycerol, močovina, karboxymethylcelulóza). Speciální skupinou jsou kombinovaná lepidla, obsahující polyakrylátové nebo polyvinylacetátové disperze. Jejich využití je rozsáhlé. Jde o polygrafii, knihařství, výrobu cigaret, lepení obalů apod. [1].

1.6.2.4 Další využití škrobu

V zemědělství se využívají termicky upravené škroby jako komponenty při výrobě krmiv a suspenzních léčiv pro mláďata hospodářských zvířat.

Pro škrobení prádla se používají především termicky modifikované škroby a dále i škroby oxidované. Velmi důležité je uplatnění maltodextrinů ve zdravotnictví, jako součást tekuté výživy pro rekonvalescenty [1].

2 VLASTNOSTI PŠENIČNÉ MOUKY

2.1 Obiloviny

Obiloviny jsou základní složkou lidské stravy [1]. Mají klíčové postavení v rostlinné výrobě a zaujímají na orné půdě více než 60 % osevních ploch [27]. Pro lidskou výživu se přímo používá z obilovin přímo zrno. Obiloviny (cereálie) patří mezi traviny (*Gramineae*). Téměř všechny známé obiloviny patří do čeledi lipnicovité (*Poaceae*). Výjimku tvoří pohanka, která se řadí mezi rdesnovité (*Polygonaceae*). V posledních letech se také uplatňuje amarant, mexická quinoa apod. [2].



Obr. 9 Pšenice setá (*Triticum aestivum*) [20]

Největší podíl z vypěstovaných obilovin tvoří pšenice, jejichž hlavní produkční oblasti jsou středo západ USA, Kanada, Austrálie a Evropa (viz Obr. 9) [15]. Pšenice má zcela mimořádnou kvalitu bílkovin, které jsou schopny vytvořit nakypřenější strukturu a vyšší klenbu pečeného výrobku než bílkoviny z kterýchkoliv jiných obilovin.

Tato vlastnost byla příčinou značného rozšíření oblastí pěstování pšenice. Pro běžné pekařské potřeby se převážně používá pšenice obecná, ze které bylo vypěstováno velké množství odrůd.

Z hlediska pěstitelského se dávno rozlišovaly pšenice jarní a ozimé, ale z hlediska zpracovatelů mouk je nejvýznamnější třídění odrůd na měkké a tvrdé [1].

V celosvětovém měřítku byli největšími tradičními producenty pšenice USA, bývalý Sovětský svaz, Kanada, Austrálie, Argentina a Čína. Během několika posledních let se situace změnila, Čína dováží podstatně méně pšenice stejně jako Ruská Federace (viz Tab. 6). Naopak Kazachstán, bývalá součást SSSR nyní vyváží významné množství [2]. V současné době patří pšenice ke dvěma obilovinám s největším objemem produkce na světě. V roce 2009 patřili mezi státy s největším výnosem Velká Británie, Německo, Francie apod. (viz Tab. 5). Z hlediska celkového objemu produkce obilovin je objem produkované pšenice přibližně stejný jako objem produkované rýže. Ta se ale jen málo zpracovává na mouku a podíl jejího využití pro pekařské výrobky je mizivý [1]. V jiných částech světa mimo Evropu dosahují značného významu další obiloviny, zejména rýže, kukuřice, proso a čirok. Pekařské využití těchto surovin na výrobky podle našich zvyklostí je omezené, neboť nejsou schopny vytvořit pevnou strukturu klenutého výrobku. Tradiční pečené výrobky z nich spíše připomínaly placky [2].

Tab. 5 Světový výnos pšenice v roce 2009 [28]

Stát	Výnos (Ha)	Stát	Výnos (Ha)
Velká Británie	79 266	Kanada	27 796
Německo	78 084	Pákistán	26 567
Francie	74 466	Turecko	25 663
Česká republika	52 424	Rusko	23 181
Čína	47 480	Argentina	17 470
USA	29 886	Austrálie	16 033
Indie	28 408	Kazachstán	11 900

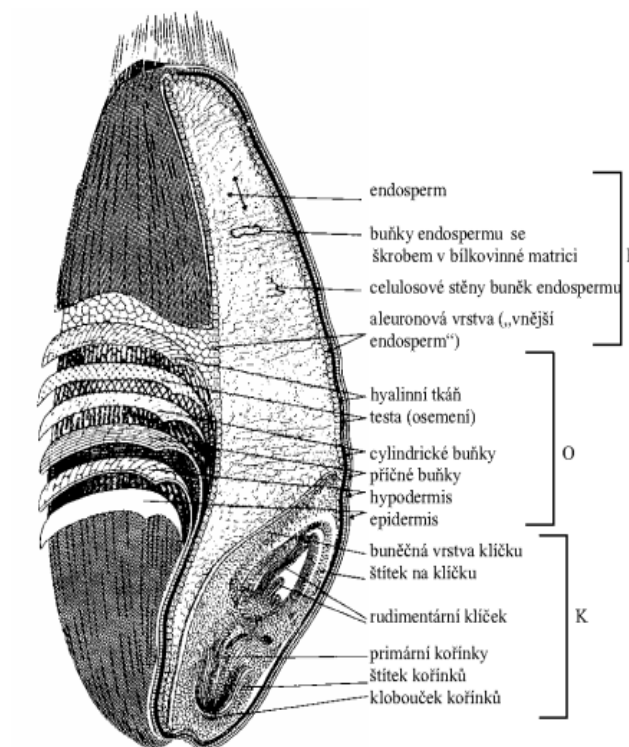
Tab. 6 Světová produkce pšenice v roce 2009 [28]

Stát	Produkce (Ha)	Stát	Produkce (Ha)
Indie	28 400 000	Austrálie	13 507 000
Rusko	26 632 900	Kanada	9 539 000
Čína	24 210 075	Pákistán	9 046 000
Turecko	20 600 000	Francie	5 146 600
USA	20 181 081	Argentina	4 334 780
Kazachstán	17 052 000	Německo	3 336 036
Velká Británie	14 379 000	Česká republika	831 300

2.2 Struktura obilného zrna

Morfologická skladba zrna všech obilovin je zhruba shodná. Zrna se liší především tvarem, velikostí a podílem jednotlivých vrstev. Tvary zrna jsou od tenkých protáhlých až po téměř kulatá, zastoupení a pořadí jednotlivých vrstev je však shodné. Rozměry zrna se mohou poněkud lišit i pro stejný druh obiloviny v závislosti na odrůdě, klimatických podmínkách každého roku a lokality (především dešťové srážky, sluneční osvit, teplotní profil, nadmořská výška), kvalitě půdy a agrotechnice [2].

Každá obilka se skládá z endospermu, klíčku a obalových vrstev (viz Obr. 10). Hmotnostní podíl jednotlivých částí zrna je rozdílný u jednotlivých obilovin a je proměnlivý vlivem vnitřních a zejména vnějších faktorů, jako je odrůda, půdní a klimatické podmínky, hnojení, agrotechnika apod. (viz Tab. 7) [15].



Obr. 10 Podélný řez pšeničným zrnem

Vrstva přicházející při mletí do otrub označena O, do mouky označena E, odstraňované s klíčkem označena K [2]

Obalové vrstvy chrání obilku před vnějšími vlivy, v mlýnské technologii je označujeme jako otruby. Vnější vrstvy jsou složeny převážně z nerozpustných polysacharidů typu celulózy s velkou mechanickou pevností. Mohou sloužit jako zdroj nestravitelné vlákniny, což může být využíváno z hlediska potřeb úpravy výživových hodnot výrobků, ale z hlediska pekárenského mají tyto složky zhoršující účinek na kvalitu a zpracovatelnost těsta [1].

Klíček tvoří v obilce nejmenší část, například u obilky pšenice je to pouze 3 % hmotnosti. Klíček je oddělen od endospermu štítkem, který obsahuje až 33 % bílkovin. Obsahuje mnoho živin, protože slouží jako zárodek nové rostliny, které musí být pohotově v době příznivých podmínek pro vyklíčení k dispozici. Mimo jednoduchých cukrů obsahuje klíček bílkoviny, aminokyseliny, vitaminy rozpustné ve vodě ale i v tuku (vit. E) a tuk. Klíčky před mletím musí být odstraněny tak, aby v získané mouce nebyl tuk hydrolyzován a nevznikala tak žluklá chuť [15].

Na rozhraní mezi obalovými vrstvami a endospermem je měkčí jednoduchá vrstva velkých buněk nazývaná aleuronová vrstva. Ta podle podmínek mletí může být vymleta společně s endospermem do mouk nebo jí část zůstává ulpělá na otrubách. Buňky aleuronové vrstvy obsahují vysoký podíl bílkoviny (cca 30 %), což je téměř trojnásobek obsahu v endospermu. Tyto buňky mají také nejvyšší obsah minerálních látek ze všech buněk zrna, proto při vymílání aleuronové vrstvy se výrazně zvyšuje obsah minerálií (popela) v mouce a mírně se také zvýší obsah bílkovin [2].

Tab. 7 Maximální rozmezí hmotnostních podílů částí zrna pšenice [2]

Část zrna	Rozmezí podílů (% hm.)
Oplodí a osemení (bez hyalinní vrstvy)	3,5 - 9,5
Aleuronová vrstva a hyalinní vrstva	4,6 - 10,4
Endosperm	80,1 - 88,5
Klíček	2,3 - 3,6

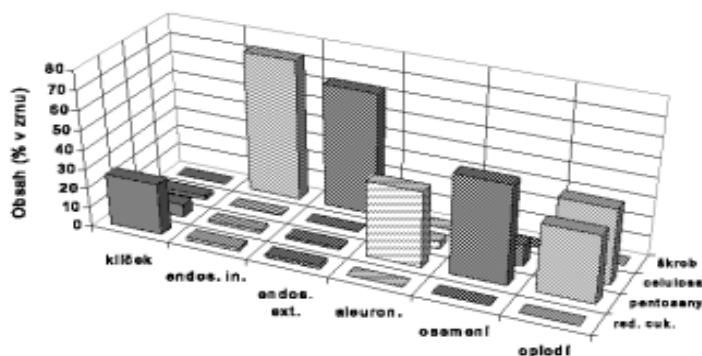
2.3 Chemické složení zrna

Základními stavebními složkami obilných zrn jsou v pořadí podle množství sacharidy a bílkoviny. V obou případech je jejich podstatná část tvořena přírodními polymery složenými z jednoduchých molekul, které jsou vždy základní stavební složkou polymeru. U bílkovin jsou to aminokyseliny a u sacharidů monosacharidy (jednoduché cukry). V malých množstvích jsou v zrnech obsaženy další obvyklé složky živých tkání, a to lipidy, minerální látky. Ve velmi malých množstvích jsou to vitaminy, barviva a velký počet složek, které mají různé růstové regulační a genetické funkce [1].

Pšenice má velký podíl energie díky vysokému obsahu škrobu (50 - 70 %). Hrubá vláknina se nachází v obalech, které při zpracování přecházejí obvykle do otrub. Obsah bílkovin je v zrna v rozmezí 8 - 13 % a obsah tuku je velmi nízký, pouze kolem 1,5 - 3 %. Z vitaminů, které se v pšeničném zrna vyskytují v minoritním množství, jsou to hlavně vitaminy skupiny B, vitamin E [29], [30].

2.3.1 Sacharidy

V obilném zrna lze nalézt různé druhy sacharidů od jednoduchých cukrů až po vysokomolekulární polysacharidy (viz Obr. 11). Některé z nich jsou obsaženy ve velmi malém množství, zatímco jiné představují desítky procent z obsahu zrna. Jejich obsahy v jednotlivých odrůdách se mohou významně lišit a jsou ovlivňovány lokálními klimatickými a půdními podmínkami v daném roce a dodržováním agrotechnických opatření [2].



Obr. 11 Obsahy hlavních typů sacharidů v jednotlivých částech pš. zrna [2]

Monosacharidy jsou zastoupeny zejména ve formě pentozanů a hexozanů. Největší význam má glukóza, která se spolu s fruktózou vyskytuje v zrně jen v nepatrném množství [31], [32].

Z *disacharidů* se v obilce vyskytuje sacharóza, která je obsažena především v klíčku, dále maltóza [15]. Sacharóza sama není přímo zkvasitelná kvasinkami alkoholového kvašení, ale po hydrolýze poskytuje směs glukózy a fruktózy, která se nazývá invertní cukr. Ve zralém, neporušeném a suchém zrně se oligosacharidy vyskytují ve velmi nízkých koncentracích [1].

Polysacharidy obilných zrn dělíme zpravidla na škrob a na skupinu neškrobových polysacharidů. Škrob je obsažen v obilovinách v endospermu a tvoří přibližně 60 - 75 % sušiny obilky. Obsah škrobu v mouce, která je tvořena převážně endospermem, je 80 %. Škrob má vedle pšeničného lepku zásadní význam pro cereální technologii a může být biochemicky hydrolyzován tzv. amylolytickými enzymy amylázami. Jde o enzymy třídy hydroláz, které katalyzují hydrolytické štěpení glykosidových vazeb mezi molekulami glukózy v polymerních řetězcích molekul amylozy a amylopektinu [33].

2.3.1.1 Odbourávání škrobu

α -amyláza je enzym, který způsobuje štěpení molekul amylozy i amylopektinu v libovolném místě řetězce a v případě amylopektinu může odštěpovat jak z volných koncových řetězců, tak i dále ve větvené struktuře za vazbami α -1,6 [1].

β -amyláza působí naopak z vnějšku makromolekul amylozy a amylopektinu. Způsobuje proto postupné odštěpování molekul maltózy od konce polymerních řetězců. Při hydrolýze amylopektinu β -amyláza není schopna překročit vazby α -1,6. To znamená, že nedochází k úplné hydrolýze a vzniká tzv. β -limitní dextrin [1].

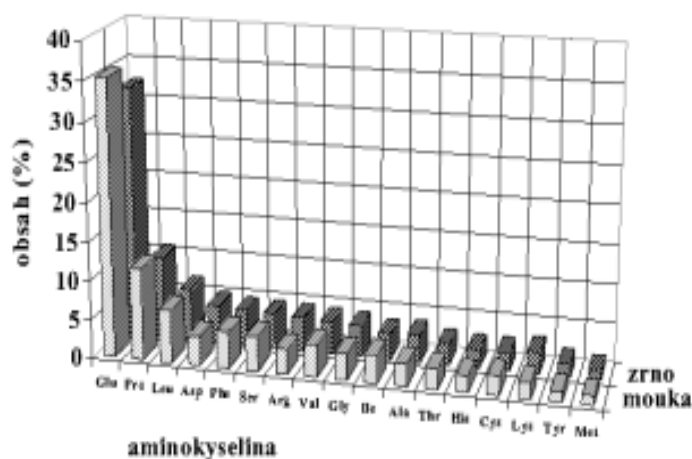
2.3.2 Bílkoviny

Bílkoviny jsou biopolymery, které jsou tvořené dvaceti základními aminokyselinami [33]. Aminokyseliny se dělí na esenciální a neesenciální. Esenciální aminokyseliny jsou pro lidský organismus nezbytné, nedokáže si je syntetizovat (valin, leucin, izoleucin, treonin, metionin, fenylalanin, tryptofan, lyzin, histidin, arginin).

Neesenciální aminokyseliny si člověk dokáže syntetizovat [31]. Molekuly bílkovin jsou tvořeny různě dlouhými řetězci aminokyselin spojených vzájemně peptidovou vazbou.

Peptidová vazba vzniká mezi –OH skupinou z karboxylového konce jedné aminokyseliny a –NH₂ skupinou druhé aminokyseliny za současného odštěpení molekuly vody. Rozhodující část bílkovin je uložena v endospermu a v aleuronové vrstvě obilného zrna. Vlastnosti bílkovin závisí na chemickém složení a na strukturním uspořádání [33].

Dominantní aminokyselinou v obilovinách je kyselina glutamová, která je téměř výhradně přítomna jako glutamin. Jeho obsah v zrna a mouce představuje více než 1/3 z celkového obsahu aminokyselin. Druhou nejvíce obsaženou kyselinou je prolin, který díky svému strukturnímu uspořádání dává předpoklady k vytvoření pružné prostorové bílkovinné struktury pšeničného těsta. V obilovinách se také vyskytuje malé množství lyzinu, a jelikož je jeho obsah nízký, není tato obilná bílkovina pro člověka plnohodnotná (viz Obr. 12) [1].



Obr. 12 Obsah aminokyselin

v bílkovině pš. zrna a mouky [2]

2.3.2.1 Vlastnosti pšeničných bílkovin

Zralá zrna obilovin obsahují podle druhů a odrůd kolem 9 - 13 % bílkovin v sušině. Nejvíce jsou prozkoumány právě bílkoviny pšenice, které mají také největší technologický význam [33]. V roce 1907 publikoval Osborne frakcionaci pšeničných bílkovin na základě jejich rozpustnosti v různých rozpouštědlech.

Bílkoviny tak byly rozděleny do čtyř skupin:

- ❖ Albuminy (rozpustné ve vodě)
- ❖ Globuliny (rozpustné v roztocích solí)
- ❖ Prolaminy (rozpustné v 70 % etanolu)
- ❖ Gluteliny (zčásti rozpustné ve zředěných roztocích kyselin a zásad)

Čtyři základní Osbornovy frakce se vyskytují v různých poměrech ve všech obilných zrnech a podle druhů obilovin jim pak byly přisouzeny různé názvy většinou odvozené z latinských názvů jednotlivých obilovin [2]. Pro pšeničné prolaminy a gluteliny jsou používány názvy gliadiny a gluteniny. Mezi albuminy a globuliny patří všechny obilné enzymy a řada dalších bílkovin [33].

Z technologického hlediska jsou nejvýznamnější zásobní bílkoviny pekařských obilovin, které jsou obsaženy v endospermu, tzn. prolaminy a gluteliny. Zásobní bílkoviny pšenice se svými vlastnostmi liší od obdobných bílkovin ostatních obilovin a jsou příčinou výjimečného postavení pšenice v cereální technologii. Prolaminy a gluteliny obecně nejsou rozpustné ve vodě. S přidavkem vody pak bobtnají a tvoří viskózní koloidní gely nebo roztoky [1].

Pšeničné prolaminy a gluteliny bobtnají pouze omezeně a za současného vložení mechanické energie na hnětení za přítomnosti kyslíku tvoří pevný gel, lepek. Lepek je příčinou unikátních vlastností pšeničného těsta, jeho tažnosti a pružnosti [1].

2.3.3 Tuky

Tuky jsou velmi pestrou skupinou organických sloučenin, které se běžně vyskytují v přírodě. Společnou vlastností je nerozpustnost nebo omezená rozpustnost ve vodě. Rozpustné jsou v organických rozpouštědlech např. v chloroformu, acetonu, toluenu a v hexanu. Z chemického hlediska do této skupiny látek patří tuky a oleje, fosfolipidy, steroidy, glykolipidy, vosky, lipofilní barviva a některé vitaminy [34].

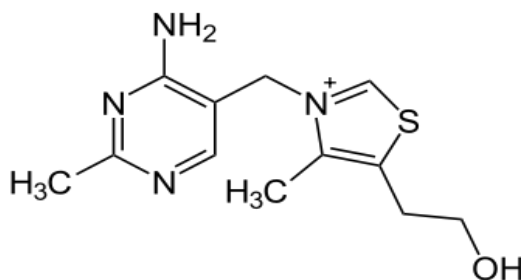
Obilná zrna jsou na tuky velmi chudá. Vyšší výskyt tuků je v klíčcích. Z některých z nich se lisují oleje (kukuřičný olej), které jsou ceněny díky vysokému podílu nenasycených mastných kyselin [1].

Po extrakci éterem se obsahy tuků průměrně v celém zrně pohybují kolem 1,9 %, po extrakci polárním rozpouštědlem se získává kolem 2,2 % a po kyselé hydrolyze přibližně 2,5 % [2]. Endosperm a tím i mouky chlebových obilovin obsahují maximálně do 2 % tuků, především triacylglycerolů. Přes nízký obsah hrají tuky zřejmě důležitou úlohu při tvorbě těsta. Kyseliny linolová, olejová a linolenová patří k těm nenasyčeným mastným kyselinám, které podléhají velmi snadno oxidaci, což má za následek žluknutí mouky při delším skladování. Hydrolytické žluknutí tuku v mouce se projevuje zvýšením kyselosti a k tomuto jevu dochází i při dlouhodobém skladování mouk [1].

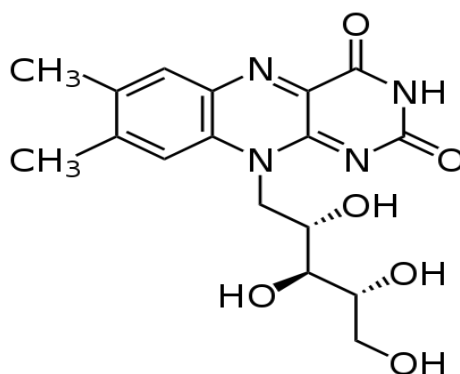
Mezi další skupinu tuků patří i lipofilní barviva (pigmenty). V obilovinách se vyskytují zejména karotenoidy, žlutá a oranžová barviva. Jejich představitelem je lutein. Vyšší obsah těchto látek vykazuje zejména pšenice *Triticum durum*, z níž se připravuje semolina (krupice pro výrobu italských těstovin). V pšeničné mouce pro výrobu bílého pečiva je vyšší obsah karotenoidů nežádoucí [2].

2.3.4 Vitaminy

Vitaminy jsou v obilovinách obsaženy zejména v klíčku a aleuronové vrstvě [15]. Endosperm je na vitaminy poměrně chudý. Obiloviny lze považovat za zdroj vitaminů skupiny B. Thiamin (vit. B1 viz Obr. 13) a riboflavin (vit. B2 viz Obr. 14) se vyskytují v obalových vrstvách většiny obilovin a v klíčcích. V moukách podle stupně vymletí zůstává pouze cca 10 - 40 % původního obsahu vitaminů B skupiny v zrně. Kyselina nikotinová a nikotinamid jsou ve vyšších množstvích přítomny v pšenici a ječmeni. Lipofilní vitaminy jsou zastoupeny především vitamin E (tokoferol), který se ve vysoké koncentraci vyskytuje v pšeničných klíčcích, z nichž se dokonce izoluje při výrobě vitaminových preparátů ve farmaceutickém průmyslu [1].



Obr. 13 Vzorec thiaminu [5]



Obr. 14 Vzorec riboflavinu [5]

2.3.5 Minerální látky

Minerální látky tvoří v obilovinách malý podíl v závislosti na půdních a agrotechnických podmínkách. Maximální obsah minerálních látek byl zjištěn v osemeni a v aleuronové vrstvě [15]. Souhrnně se tyto látky označují jako „popel“, to znamená anorganický zbytek po spálení rostlinného materiálu. Obsah popele se v celých zrnech pohybuje v rozmezí cca 1,25 - 2,5 %.

Obsah popela v mouce vzrůstá se stupněm vymletí a je základem pro klasifikaci mouk a jejich dřívě a v zahraničí dodnes používané typové označení (např. mouka T 530 → obsah popela 0,53 % apod.) [2].

2.3.6 Minoritní složky

Obiloviny obsahují některé další složky v miniaturním množství. Cholin má velký význam pro nervomotorickou činnost našeho organismu. Jeho výhodným zdrojem je i nízkovymletá mouka, neboť je v obilném zrne rozložen dosti rovnoměrně. Kyselina paraaminobenzoová je významným růstovým faktorem a je obsažena nejvíce v obalových vrstvách [1].

3 VLASTNOSTI PŠENIČNÉHO TĚSTA

3.1 Hodnocení kvality pšeničné mouky

Mezi hlavní ukazatele kvality pšeničné mouky se tradičně považuje schopnost tvorby kypřících plynů, pekařská síla mouky, barva mouky a granulační spektrum mouky.

3.1.1 Tvorba plynu

Předpokladem pro účinnou tvorbu plynu v těstě je fermentace cukrů pekařským droždím nebo kvasinkami žitných kvasů. Podmínkou správného průběhu fermentace je dostatek zkvasitelných cukrů a dostatečná aktivita kvasinek. Zkvasitelné cukry (zejména glukóza, fruktóza, maltóza) jsou přítomny v mouce, ale mimo to vznikají tyto cukry i působením amylolytických enzymů v těstě. Kvalitní mouka by neměla obsahovat velké množství zkvasitelných cukrů a příliš velké množství porušených škrobových zrn a současně by měla být aktivita amylolytických enzymů po celou dobu zrání a kynutí těsta. To se pak projevuje stabilní produkcí dostatečného objemu CO_2 [33].

Pro správnou plynotvornou schopnost je nutný dobrý stav amylázo-škrobového komplexu, pro jehož stanovení se využívají různé instrumentální metody, jako jsou měření na amylografu apod. Průběh fermentace těsta je možné posoudit na maturografu nebo reofermentometru [35]. Fermentograf sleduje první fázi fermentace, označovanou jako zrání těsta a popisuje chování těsta pomocí křivek, zaznamenávajících objem kvasných plynů a objem těsta (viz Obr. 15) [36].



Obr. 15 Fermentograf [37]

Maturograf je určen k hodnocení druhé fáze fermentace tzv. kynutí a sleduje reakce fermentovaného těsta při statické deformaci. Je to unikátní přístroj pro zjištění elasticity a stability fermentace [36].

3.1.2 Pekařská síla mouky

Pekařská síla mouky je dána kvalitou a množstvím lepku. Na objem běžného pšeničného pečiva má nejvýznamnější vliv obsah lepkové bílkoviny v mouce vyjadřovaný obvykle jako obsah mokrého lepku. Nejvíce pekařsky kvalitních bílkovin obilného zrna je obsaženo v krupicích a v prvních moukách z počátečních chodů ve mlýně (tzv. přední mouky). Vedle obsahu lepku má význam i jeho kvalita [33]. Tradiční ukazatel kvality nazývaný „bobtnavost lepku“ představuje nárůst objemu relativně čistého mokrého lepku v roztoku kyseliny mléčné. V současné době je spolehlivým ukazatelem pekařské kvality mouky tzv. „lepkový index“. Lepkový index je udáván v procentech zbylého lepku na sítku k celkovému množství lepku. V některých zemích je již lepkový index zahrnován do norem kvality pšenice nebo mouky [33].

3.1.3 Barva mouky

Barva mouky je závislá na odrůdě obilí, klimatických podmínkách, stupni vymletí, granulaci mouky, skladování mouky [38]. Přísady celozrnných mouk a šrotů ovlivňují barvu střídy.

Barva mouky také závisí na původní barvě pšenice, která může být od světle žluté až do oranžové a načervenalé. Krémová barva mouky je u pekařů v ČR hodnocena příznivěji než sněhově bílá barva [33].

3.1.4 Granulační spektrum mouky

Podle vyhlášky Ministerstva zemědělství č. 333/1997 Sb. jsou pro jednotlivé typy mouk požadovány určité podíly propadů stanovenými síty. Velikost částic mouky může ovlivňovat zpracovatelské vlastnosti mouky. Mouky s velkým granulačním rozpětím frakcí dávaly nestandardní výrobky sušenkového typu a těstovin. Čím intenzivnější je vymílání mouky, tím více škrobu je poškozeno. Poškozený škrob snáze podléhá působení amylolytických enzymů a je rychleji hydrolyzován na zkvasitelné cukry a také rychleji mazovatí [33].

3.2 Rozdílné vlastnosti pšeničné a žitné mouky

V pekárenské výrobě se používají výhradně jen dva druhy mouk, a to mouka pšeničná a žitná. Ostatní druhy (mouka bramborová, kukuřičná, ovesná) se používají pouze výjimečně. Pšeničná mouka má odlišné pekařské vlastnosti než mouka žitná [39]. Liší se především svým rozdílným složením, což ovlivňuje technologii při výrobě chleba a pečiva.

Hlavní a zásadní rozdíl mezi oběma moukami jsou rozdílné vlastnosti bílkovin [15].

Pšeničná mouka má menší množství zkvasitelných cukrů a obvykle i méně enzymů. Z tohoto důvodu se do ní tyto látky přidávají ve formě zlepšovacích přípravků.

Žitný škrob lépe bobtná, má více amylopektinu a méně amylózy, která má tendenci zpětně retrogradovat a je příčinou tvrdnutí chleba. Žitné slizy mají velkou bobtnací schopnost a poutají vlhkost ve střídce.

Silné mouky dávají pevná, pomalu zrající těsta a jsou schopné vázat hodně vody a mají vysokou vaznost. Mají však nízkou aktivitu enzymů, proto jsou škrob a bílkoviny v těstech jen nepatrně odbourávány. Takové mouky mají zpravidla větší obsah lepku, což se projeví větší tuhostí těsta [15].

Slabé mouky mají zcela opačné vlastnosti, představitelem je mouka z porostlého obilí. Těsta z nich vyrobená se roztékají, jsou hodně měkká, váží málo vody a rychle kvasí [15]. Mají příliš vysokou aktivitu enzymů, dávají měkká těsta, která intenzivně kvasí a brzy se roztékají, proto se u těchto těst snižuje množství vody a zkracuje se zrání.

Čerstvě semleté mouky nejsou vhodné pro okamžité pekárenské využití. Musí se nechat nějakou dobu dozrát, u žitné mouky 7 - 10 dnů, pšeničné 14 - 21 dnů. Změny, ke kterým dochází v průběhu skladování, se nazývají dozrávání mouky. Jakost mouky při dozrávání je závislá především na teplotě. Optimální teplota se pohybuje do +18 °C. Při dozrávání dochází k vybělení mouky, ale také ke změnám lepkového komplexu, kdy se snižuje jeho tažnost a zvyšuje se pružnost. Dochází k oxidaci tiolových skupin a tvorbě disulfidických vazeb mezi sirnými aminokyselinami, které lepek zpevňují [15].

3.3 Základní suroviny na výrobu pšeničného těsta

Základní pekárenské suroviny jsou mouka, voda, sůl, droždí, enzymové přípravky, mléčné výrobky, cukr, tuky a emulgátory, vejce. Mouky jsou nejdůležitější pekárenskou surovinou, protože v těstech tvoří až 70 % hmotnosti všech surovin [15].

Pro běžné pekařské účely se převážně používá pšenice obecná. Z hlediska zpracovatelů mouk je významné třídění odrůd pšenice obecné na měkké a tvrdé. Při mlynářském zpracování je sledována tvrdost pšenice, která souvisí s obsahem a kvalitou pšeničné bílkoviny. Mezi tvrdostí zrna a pekařskou kvalitou existuje určitá souvislost, tvrdší pšenice jsou pekařsky více kvalitní. Na rozdíl od pekařských kynutých výrobků je pro výrobu trvanlivého pečiva potřeba použít mouky se slabým lepkem. Pro tyto účely jsou nejvíce vhodné slabé pšenice. Pro výrobu těstovin se využívá pšenice durum, jejíž bílkovina je tuhá, velmi pevná a nemá pružnost [33].

Dalšími hlavními složkami jsou voda, sůl a droždí. Droždí se dodává jako čerstvě lisované s omezenou trvanlivostí na několik dnů, nebo jako sušené s podstatně delší trvanlivostí. Pro celý průběh zrání a kynutí těsta je důležitá aktivita droždí, která se sleduje buď prostřednictvím objemu uvolněného CO₂ nebo přímo nárůstem objemu těsta. Určitý vliv má i přítomnost kvasitelných cukrů. Počáteční aktivita droždí je také ovlivňována tím, na jakém substrátu bylo droždí vyráběno [1].

Další složky nejsou pro vytvoření těsta s výrobku nezbytné, ale zlepšují jeho strukturu, chuťové a další senzorycké vlastnosti a zpomalují stárnutí (tuhnutí) výrobků. Jsou to cukr, tuk, mléčné produkty, vejce, chemická kypřidla. V současné technologii se používá celá řada zlepšovacích přísad jako oxidantů (např. kyselina askorbová), emulgátorů, látek vázících vodu, enzymů, ochucovacích a aromatizujících látek (kmín, fenykl, anýz), barvicích látek (karamel, cikorka). Současně se pro speciální výrobky používá mnoho druhů semen (slunečnice, mák, sezam, různé druhy ořechů) a v zahraničí rozinek [1].

3.4 Reologické vlastnosti těsta

V pekárenské technologii a v příbuzných technologiích, kde se pracuje s těsty, krémy, náplněmi, polevami apod., hrají významnou roli v utváření kvalitního produktu mechanické vlastnosti surovin a poloproductů. Proto se v metodách hodnocení surovin, poloproductů i produktů se velmi využívá metod založených na měření reologických vlastností. Zpracovatelská kvalita a texturní vlastnosti jsou často dobře vystiženy reologickými ukazateli [1].

Reologie je jedním z odvětví fyziky, které se zabývá fyzikálním a matematickým popisem chování látek za deformace jak při podmínkách dynamických (v průběhu deformování), tak statických (deformovaný stav se dále nemění vnějšími silami) [35]. Pomocí reologického chování těsta lze určit zpracovatelská a spotřebitelská kvalita výrobku [38]. Reologické sledování těsta odhaluje fyzikální chování těsta, na které je působeno vnější silou. Toto chování je závislé především na viskoelastických vlastnostech lepkové bílkoviny [40].

3.4.1 Fyzikální podstata tvorby těsta

Základem těsta je mouka, voda, sůl a v některých speciálních případech ještě tuk a povrchově aktivní látky. Ostatní složky nemají na reologické chování těst podstatný vliv. Při míchání mouky a vody, částice mouky zvolna hydratují, nevytváří se však spojitá masa těsta. Ke vzájemnému styku molekul bílkovin a hydratovaných polysacharidů dochází až během hnětení, které přispívá k jejich orientování a tvorbě příčných vazeb. Tím se vytváří trojrozměrná síť dávající elasticitu zejména pšeničnému těstu. Kromě toho vzniká z nabobtnalé bílkoviny a případně polysacharidů gel, který umožňuje těstu vykazovat viskózní tečení [40].

V trojrozměrné struktuře jsou dispergována škrobová zrna, buňky kvasinek a vzduchové bublinek. Zpočátku hnětení jsou pro tvorbu pšeničného těsta nejdůležitější bílkoviny. Během mechanického hnětení se trojrozměrná bílkovinná síť upevňuje a tím se mění tekutost, tuhost a elasticita těsta. Těsto je pak více homogenní. V některých případech se uplatňuje přetuzování, kterým dojde k dosažení žádoucích reologických vlastností těsta [35].

3.4.2 Přístroje k měření reologických vlastností

Na principu měření reologických vlastností těsta je založena celá řada přístrojů. Některé z nich skutečně jen sledují reologické chování těsta, eventuálně z výsledků usuzují na vlastnosti mouky nebo zrna. Jiné do jisté míry stimulují určité technologické pochody. Cílem těchto měření je na základě reologických měření těsta nebo suspenze mouky předvídat chování materiálů v průběhu technologického procesu.

Tyto přístroje se třídí podle účelu, jakému výsledky jejich měření slouží. Jsou to přístroje, s jejichž pomocí se zjišťují jen některé reologické charakteristiky těsta jako ukazatele kvality mouky nebo zrna. Dále jsou to přístroje, které jen stimulují některé technologické pochody a v neposlední řadě přístroje, které vypovídají o obojím.

Na podstatě reologických měření jsou založeny další přístroje, které se však nepoužívají k měření těsta, ale pouze suspenze mouky nebo škrobu. Charakterizují výkyvy v aktivitě amylolytických enzymů a poškození škrobu. Významné jsou zejména pro hodnocení žitných mouk, ale rozsáhle se používají i při kontrole porostlosti pšenice [1].

3.4.2.1 Farinograf



Obr. 16 Farinograf [36]

Farinograf je nejznámější a po celém světě nejrozšířenější přístroj k testování kvality mouky (viz Obr. 16). Na základě sledování změn konzistence těsta při hnětení za standardních podmínek lze charakterizovat kvalitu mouky a odolnost z ní vyrobeného těsta vůči mechanickému namáhání [1].

3.4.3 Vliv mechanických operací na tvorbu pšeničného těsta

3.4.3.1 Výroba těsta

Sortiment běžného pečiva se prakticky připravuje z kynutých těst. Při výrobě pšeničných těst se používají dva způsoby vedení, přímé (na záraz) a nepřímé.

Přímé vedení těsta je z hlediska úspory času a pracnosti výhodnější, a to zejména při použití zlepšujících přípravků. Princip spočívá ve smíchání všech surovin dle platné receptury (včetně droždí), těsto pak určitou dobu zraje a během zrání probíhá enzymatické a etanolové kvašení [15]. Přímé vedení těsta ovšem potřebuje delší dobu zrání těsta a v důsledku toho patříčně dimenzované zrací prostory na díže nebo zrací dopravníky v kontinuálních linkách [1].

Nepřímé vedení těsta je osvědčený a spolehlivý způsob přípravy těst. Nejprve musí být pomnožena kvasinková kultura a po té se připravuje vlastní těsto [15]. Složení a postup přípravy kvasného předstupu je v různých zemích ale i v jednotlivých pekárnách velmi rozličný [1]. Pro nepřímé vedení těsta je typické dvoustupňové vedení, kdy z části mouky, vody a celého množství droždí a enzymů se vyrobí řídký kvasný stupeň, nechá se nějakou dobu prokvasit a pak se přidají zbývající suroviny. Vymísí se těsto, které opět zraje. Rozlišují se dva základní typy kvasných stupňů, *tužší omládek* a *řidší poliš* [15].

3.4.3.2 Hnětení

Při hnětení těst probíhá mnoho chemických a fyzikálních změn. Většina procesů probíhá pozvolna a vyžaduje určitý čas k dosažení výrazných změn [1]. Zásadní podmínkou hnětení je, aby vymíchané těsto mělo správnou teplotu a optimální konzistenci pro jeho další zpracování tak, jak to vyžaduje finální výrobek. Dobře vymíchané těsto by mělo být plastické, dostatečně pružné a soudržné. Příliš volná těsta svými technologickými vlastnostmi nevyhovují strojnímu zařízení [41].

Hnětení těst během posledního století prodělalo revoluční změny. Při drobné řemeslné výrobě se těsto hnětlo v dížích. Tato práce byla velmi namáhavá, hnětení bylo málo intenzivní a ve srovnání se současnou technologií pozvolné. K nejúčinnějším strojům v dnešní době patří spirálové hnětače s hnětacím elementem ve tvaru spirály [1].

3.4.3.3 Kynutí

Kynutí je možno dosáhnout několika způsoby. Mezi nejdůležitější patří přidavek droždí nebo prášku do pečiva, v některých případech lze použít kombinací obou přísad. Množství použitého droždí je nepřímo spjato s dobou fermentace. Aktivita droždí se zvyšuje s teplotou. Droždí také ovlivňuje reologické vlastnosti těsta produkcí CO₂, uvolňováním alkoholu a mechanicky ovlivňuje zvětšování bublin [42].

Kynutí probíhá v uzavřené kynárně (boxová, průběžná) při teplotě 30 - 35 °C a vyšší relativní vlhkostí vzduchu až 45 minut podle druhu výrobku [15].

3.4.3.4 Zrání

Zrání probíhá ihned po vyhnětení po dosti dlouho dobu a během tohoto procesu je dobré těsto přetužit, aby došlo k vypuzení CO₂ a stimulaci kvasinek čerstvým vzduchem [15]. Dochází k celé řadě změn, vyrovnává se rozložení vody, jsou ukončeny koloidně-chemické změny, zvyšuje se kyselost těsta [35]. Při zrání je důležitá teplota, neboť při vyšších teplotách je podporováno spíše mléčné kvašení a tvorba kyselin, při nižších spíše alkoholické kvašení a tvorba kypřicího CO₂ [1].

3.4.3.5 Tvarování a dokynutí

Po vyzrání je těsto děleno na klonky o takovém objemu, který dá po upečení požadovanou hmotnost výrobků. Pro tvarování výrobků se využívá dvojího principu. Buď je těsto rozvalováno na tenký plátek a pak srolováno (rohlíky, vky), nebo je do klonu na průběžném pásu shora tlakem raznice vyražen tvar housky, hvězdičky apod. Pro složité tvary jemného pečiva se v průmyslových pekárnách používá plně automatizovaných linek. V malovýrobě se buď tvaruje a plní ručně, nebo se těsto mechanizovaně rozválí a vytvaruje a ručně se plní a sbaluje nebo překládá. Mezi dělením a tvarováním klonků je krátké období předkynutí těsta [1].

3.4.3.6 Pečení

Pečení je mnohostranný proces, kdy dochází k dotvoření kůrky a střídky výrobku. Také se zvyšuje stravitelnost jednotlivých výrobků. Průběh pečení je ovlivněn zejména teplotou a dobou jejich působení [15].

Při teplotách nad 60 °C dochází k denaturaci bílkovin, které uvolňují dosud vázanou vodu. Současně dochází k mazovatění škrobu, který vodu přebírá. K vytvoření vláčné střídy výrobku musí mít škrob dostatek vody [1].

Pečení má několik fází. Na počátku probíhá tzv. zapékání při nejvyšší teplotě (chléb 240 - 280 °C, těžné a jemné pečivo 200 - 240 °C). Po určité době se teplota snižuje a závěrečná část probíhá obvykle při teplotách kolem 200 °C [1].

4 VÍCEROZMĚRNÉ STATISTICKÉ METODY

Vícerozměrné statistické metody lze rozdělit do dvou základních skupin podle účelu analýzy. První skupina se zabývá technikami k určení vzájemných vazeb ve znacích (proměnných, faktorech) a objektech. Druhá skupina se využívá ke klasifikaci objektů.

Techniky k určení vzájemných vazeb se dělí podle toho, zda vyšetřují znaky nebo objekty. Výběr dané metody pak závisí na vstupních datech, které mohou být metrické nebo nemetrické.

❖ Určení struktury a vazby ve znacích (metrická škála)

- Analýza hlavních komponent (PCA)
- Faktorová analýza (FA)
- Shluková analýza (CLU)

❖ Určení struktury a vazby v objektech (metrická škála)

- Shluková analýza (CLU)

❖ Určení struktury a vazby v objektech (metrická i nemetrická škála)

- Vícerozměrné škálování (MDS)

❖ Určení struktury a vazby v objektech (nemetrická škála)

- Korespondenční analýza (CA)

4.1 Standardizace vícerozměrných dat

Standardizace dat se provádí s účelem odstranění závislosti na jednotkách, na parametru polohy a v případě, pokud vykazuje některý ze znaků značně velký rozptyl oproti ostatním. Znaky či objekty po standardizaci mají nulovou střední hodnotu a rozptyl roven 1.

❖ Sloupcové centrování

$$y_{ij} = x_{ij} - \bar{x}_j,$$

kde: $\bar{x}_j = \sum_{i=1}^n \frac{x_{ij}}{n}$ je průměr prvků j-tého sloupce.

❖ Sloupcová standardizace

$$y_{ij} = \frac{x_{ij}}{s_j},$$

kde: $s_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{n-1}}$ je směrodatná odchylka vypočítaná z prvků j-tého sloupce.

❖ Autoškálování

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j}$$

Autoškálování je kombinací sloupcového centrování a sloupcové standardizace. Pro velké výběry má tvar

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \mu_j}{\sigma_j}.$$

4.2 Exploratorní analýza dat (EDA – exploratory data analysis)

Exploratorní analýza dat slouží k primárnímu seznámení se strukturou objektů. Jedná se o průzkumovou analýzu vícerozměrných dat, jejímž účelem je odhalení vybočujících bodů, indikování struktury v datech. Na základě získaných dat může být před vlastní statistickou analýzou provedena korekce výběru. V první části průzkumová analýza seznamuje s popisnými charakteristikami vícerozměrných dat a ve druhé části pomocí grafických diagnostik odhaluje podobnost mezi objekty.

4.3 Analýza hlavních komponent (PCA)

Metoda hlavních komponent je jedna z nejstarších a nejvíce používaných metod vícerozměrné analýzy. Metoda byla zavedena Pearsonem už v roce 1901 a nezávisle na něm ji znovu zavedl Hotellingem v roce 1933. Cílem PCA je hlavně zjednodušení popisu skupiny, které jsou vzájemně lineárně závislé neboli rozklad zdrojové matice dat do matice strukturní a do matice šumové.

PCA lze popsat jako metodu lineární transformace původních znaků na nové, tzv. hlavní komponenty.

Každá tato nová komponenta představuje lineární kombinaci původních znaků. Základní charakteristikou každé hlavní komponenty je její míra variability čili rozptyl. Hlavní komponenty jsou seřazeny podle důležitosti, tzn. podle klesajícího rozptylu, od největšího po nejmenší.

PCA se využívá ke snížení dimenze úlohy čili k redukci počtu znaků bez velké ztráty informace, a to užitím pouze prvních několika hlavních komponent. Toto snížení se netýká počtu původních znaků. Nevyužité hlavní komponenty obsahují malé množství informace, protože jejich rozptyl je příliš malý. Výhoda této metody spočívá ve faktu, že hlavní komponenty jsou nekorelované. Z toho vyplývá, že namísto vyšetřování velkého počtu původních znaků analyzuje uživatel pouze malý počet nekorelovaných hlavních komponent.

4.3.1 Podstata metody PCA

Zdrojová matice dat X ($n \times m$) obsahuje n objektů a m znaků. Objekty jsou pozorování, vzorky, experimenty, měření, pacienti, rostliny apod. Znaky čili proměnné jsou druhy signálu měření, měřená veličina, vlastnosti, barva apod.

Cílem metody PCA je převedení původních znaků do menšího počtu latentních proměnných (hlavních komponent), které jsou nekorelované se společným počátkem. Nové latentní proměnné je třeba pojmenovat a vysvětlit jejich vztahy k původním znakům. I při velkém počtu původních znaků m může být k velmi malé, běžně 2 – 5. Volba počtu hlavních komponent pak vede k sestavení modelu hlavních komponent. Hlavní komponenty jsou natočeny do směrů tak, aby popisovaly maximální variabilitu (rozptyl) zdrojové matice dat a přitom minimalizovaly jejich vzdálenosti od objektů.

❖ Určení hlavních komponent

Hlavní komponenty jsou seřazeny sestupně s klesajícím rozptylem, vyjádřenými vlastními čísly $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_m$. První hlavní komponenta vystihuje největší část rozptylu dat, a proto slouží k popisu nejvíce informací. Druhá hlavní komponenta potom pokrývá největší část rozptylu, který není obsažen v první hlavní komponentě a komponenta poslední obsahuje nejméně informace.

K volbě počtu k využitých hlavních komponent se mohou použít následující pravidla:

- Výběr k hlavních komponent objasňující procento P variability zdrojové matice dat (obvykle $P = 70 - 90 \%$). Pro k platí

$$100 \frac{\sum_{i=1}^k \lambda_i}{\sum_{i=1}^m \lambda_i} \geq P.$$

- Výběr komponent podle Kaiserova kritéria zahrnuje do modelu takové latentní proměnné, jejichž vlastní čísla $\lambda_m \geq 1$ a zanedbává ty, které mají vlastní čísla menší než 1.
- Na základě Cattelova indexového grafu úpatí vlastních čísel (Scree Plot), který je sloupcovým diagramem vlastních čísel $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_m$, se určí zlomové místo mezi svislou stěnou a vodorovným dnem. Nepotřebné hlavní komponenty potom představují vodorovné dno.

Existuje horní mez počtu hlavních komponent, které mohou být odvozeny ze zdrojové matice dat X . Největší počet hlavních komponent se buď rovná číslu $n - 1$, nebo m v závislosti na tom, které z těchto dvou čísel je menší.

❖ Model PCA

Model PCA odpovídá aproximaci zdrojové matice dat X , který se pak užívá místo původní zdrojové matice dat X . Aproximace má celou řadu výhod v interpretaci dat. Nejedná se pouze o změnu systému souřadnic, ale jde hlavně o nalezení a vypuštění šumu. PCA má tedy dvojí cíl. Jednak je to transformace do nového systému os a také snížení rozměrnosti úlohy užitím několika hlavních komponent, které vystihují strukturu v datech.

4.3.2 Grafické pomůcky analýzy hlavních komponent

Výsledek analýzy hlavních komponent lze vyobrazit v několika různých typech grafu.

4.3.2.1 *Cattelův indexový graf úpatí vlastních čísel (Scree Plot)*

Jedná se o sloupcový diagram vlastních čísel $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m$ zdrojové matice dat X v závislosti na indexu i . Zobrazuje relativní velikost jednotlivých vlastních čísel. Úpatí je zlomové místo mezi kolmou stěnou a vodorovným dnem.

Nevýznamné hlavní komponenty představují vodorovné dno a významné komponenty jsou odděleny zřetelným zlomovým místem, úpatím a hodnota indexu i tohoto zlomu udává počet významných komponent.

4.3.2.2 Graf komponentních vah, zátěží (*Plot Components Weights*)

Tento typ grafu se využívá k zobrazení komponentní váhy čili zátěže pro první dvě hlavní komponenty. Každý bod v grafu odpovídá jednomu znaku a v grafu se porovnávají vzdálenosti mezi znaky. Krátká vzdálenost mezi dvěma znaky znamená silnou korelaci. V grafu lze nalézt i shluk podobných znaků, jež spolu korelují. Graf je považován za „most“ mezi původními znaky a hlavními komponentami. Jsou-li znaky $x_j, j = 1, \dots, m$, blízko sebe v prostorovém shluku, jde o silnou pozitivní kovarianci. Kovariance však nemusí ještě znamenat korelaci.

Interpretaci grafu komponentních vah lze obecně shrnout do těchto bodů:

❖ Důležitost původních znaků $x_j, j = 1, \dots, m$

Znaky x_j s vysokou mírou proměnlivosti v objektech mají vysoké hodnoty komponentní váhy. Ve 2D-diagramu prvních dvou hlavních komponent pak leží hodně daleko od počátku. Znaky s malou důležitostí leží blízko počátku. Když je určena důležitost znaků, je také určena variabilita znaků.

❖ Korelace a kovariance

Původní znaky, které jsou blízko sebe, anebo znaky s malým úhlem mezi svými průvodiči znaků mají vysokou kladnou kovarianci a tím i vysokou kladnou korelaci. Naproti tomu znaky, které jsou daleko od sebe, jsou korelovány negativně.

❖ Spektroskopická data

Ve spektroskopických datech je graf komponentních vah často nejvhodnější. Vysoké komponentní váhy představují vysokou důležitost znaků x_j .

4.3.2.3 Rozptylový diagram komponentního skóre (*Scatterplot*)

Diagram určený k zobrazení komponentního skóre t_1, t_2 obvykle pro první dvě komponenty u všech objektů. Diagram komponentního skóre může být i ve třech či více hlavních komponentách a v rovinném grafu se pak sleduje pouze jeho průmět do roviny.

Takový diagram se pak používá k identifikaci odlehlých objektů, identifikaci trendů, identifikaci tříd, shluků objektů, k objasnění podobnosti objektů apod. Nelze analyzovat všechny možné rozptylové diagramy, protože je jich velmi mnoho.

4.3.2.4 Dvojný graf (Biplot)

Dvojný graf je kombinací grafu komponentních vah a rozptylového diagramu komponentního skóre. Tato kombinace přináší cenné srovnání, kdy jeden graf působí jako doplněk vůči grafu druhému. Když se ve dvojném grafu nachází objekt v blízkosti určitého znaku x_j , znamená to, že tento objekt „obsahuje“ velký podíl právě tohoto znaku a je s ním v interakci.

Modifikací je 2D-graf s osami, které odpovídají prvním dvěma hlavními komponentám. Body zde indikují objekty a vektory jsou projekce znaků. Projekce jsou vyjádřeny v 2D-podprostoru n rozměrného prostoru pro znaky, když každý znak má n složek.

4.3.2.5 Graf reziduí jednotlivých objektů

Rozptyl reziduí jednoho i -tého objektu představuje vzdálenost mezi tímto objektem a modelem. Je vhodné zobrazovat tuto veličinu pro všechny objekty v jednom grafu, protože je pak usnadněno odhalení jak odlehlých objektů, tak i jiné anomálie objektů. Toto zobrazení je zvláště výhodné když je potřeba porovnat rezidua jednotlivých objektů mezi sebou.

4.3.3 Řešení problémů v rámci PCA

V analýze hlavních komponent se často lze setkat s problémy.

- ❖ Data neobsahují předpokládanou informaci
- ❖ Je užito málo hlavních komponent
- ❖ Je užito mnoho hlavních komponent
- ❖ Nejsou odstraněny odlehlé objekty
- ❖ Odstraněné nebo odlehlé objekty obsahovaly důležitou informaci
- ❖ Přecenění standartních diagnostik
- ❖ Užití špatného předzpracování dat [43], [44], [45].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍL PRÁCE

Cílem práce bylo stanovit obsah vlhkosti a škrobu ve vzorcích mouky. Dále zjistit případné vztahy mezi parametry týkající se technologických vlastností pšeničného těsta. Pro naplnění těchto cílů byla nejdříve vypracována literární rešerše zabývající se charakteristikou parametrů ovlivňujících technologické vlastnosti pšeničného těsta. Poté bylo provedeno stanovení obsahu vlhkosti a škrobu a byla provedeno zhodnocení pomocí vícerozměrné statistické analýzy.

6 METODIKA A MATERIÁL

6.1 Charakteristika analyzovaných vzorků

Vzorky mouky byly získány z firmy Penam, a.s. a byly analyzovány pod číselným kódem. Charakteristika těchto vzorků nebyla poskytnuta (jednalo se o směsi mouk s různým stupněm vymletí). Celkem bylo získáno 150 vzorků. S těmito vzorky byla obdržena data (nejsou součástí práce) s následujícími parametry (viz Tab. 8).

Tab. 8 Parametry jednotlivých druhů mouk

Název parametru	Značka	Jednotka
Dusíkaté látky	N-1	% v sušině
Zeleného test	Z. T. test	ml
Lepek	-	% v sušině
Pevnost těsta	P	mm H ₂ O
Tažnost těsta	L	mm
Index nafouknutí	G	ml
Energie – pekařská síla mouky	W	10E – 4J
Konfigurační poměr křivky	P/L	-
Index elasticity	I _e	%
Vyjádření energie při dané délce	W (0)	10E – 4J
Vaznost	-	%

U 16 vzorků byly nalezeny larvy zřejmě potměníka moučného, a proto byly vyloučeny z analýzy. Ve zbylých 134 vzorcích byl stanoven obsah vlhkosti a popela. Škrob byl analyzován pouze v 67 vzorcích mouky. Hodnoty obsahu škrobu ve zbylých vzorcích byly získány z firmy Penam, a. s.

6.2 Chemické analýzy

6.2.1 Stanovení obsahu vlhkosti

Stanovení obsahu vlhkosti u všech vzorků byl proveden referenční metodou [46].

❖ Princip

Sušení bylo uskutečněno při teplotě (130 ± 3) °C, za podmínek, které odpovídaly absolutní metodě [46].

❖ Příprava zkušebního vzorku

Vzhledem k tomu, že vzorky mouk odpovídaly parametrům uvedených v Tab. 9, nebyly již dále upravovány mletím.

Tab. 9 Charakteristika velikosti částic produktů (bez mletí)

Velikost částic (mm)	Složení směsi (%)
$\leq 1,7$	100
$> 1,0$	≤ 10
$< 0,5$	≥ 50

❖ Postup

Počet stanovení:

Stanovení se provádělo u tří podílů laboratorního vzorku. Počet opakování byl takový, aby konečný výsledek stanovení splňoval limit.

Zkušební vzorek:

Nejprve byly zváženy čisté a suché misky, spolu s víkem, s přesností na 0,001 g. Po té s přesností na 0,001 g bylo naváženo 5 g laboratorního vzorku v misce.

Sušení:

Otevřené misky s víkem a se zkušebním vzorkem byly umístěny do trouby na (90 ± 5) min. Po vysušení byly misky společně s víky vyjmuty z trouby a byly umístěny vedle sebe do exsikátoru.

Vážení:

Po ochlazení misek v exsikátoru (40 min) byly misky zváženy s přesností na 0,001 g.

❖ Vyjádření výsledků

Vlhkost výrobku byla spočtena podle vzorce:

$$w_{H_2O} = \left(1 - \frac{m_1}{m_0} \right) \cdot 100$$

kde:

$$m_0 = m'_0 - m_d \quad \text{hmotnost zkušební vzorku (g)}$$

$$m_1 = m'_1 - m_d \quad \text{hmotnost zkušební vzorku po sušení (g)}$$

Aritmetický průměr a směrodatná odchylka byla vypočítána ze tří měření a vlhkost byla vyjádřena v % vzorku (m/m).

❖ Stupeň přesnostiOpakovatelnost měření:

Absolutní rozdíl mezi dvěma nezávislými výsledky jednotlivých zkoušek, získaných stejnou metodou a na stejném zkušebním materiálu, ve stejné laboratoři za použití stejného zařízení, ve více než 5 % případů nepřesáhl limit opakovatelnosti

$$r = 2,77S_r \quad \text{pro produkty, jejichž obsah vlhkosti je 10 – 18 %}$$

kde:

S_r – směrodatná odchylka opakovatelnosti.

• Reprodukovatelnost:

Absolutní rozdíl mezi dvěma nezávislými výsledky jednotlivých zkoušek, získaných stejnou metodou a na stejném zkušebním materiálu, ve stejné laboratoři za použití stejného zařízení, ve více než 5 % případů přesáhl limit reprodukovatelnosti

$R = 2,77 S_R$ pro produkty, jejichž vlhkost je 10 – 18 %

kde:

S_R – směrodatná odchylka reprodukovatelnosti

6.2.2 Stanovení obsahu škrobu

Stanovení škrobnatosti u vybraných plodin bylo provedeno polarimetricky pole Ewarse ihned po dodání vzorků [47]. Tato metoda byla využita u všech vzorků mouk.

Polarimetrická metoda využívá významné vlastnosti sacharidů, optické aktivity, tj. schopnosti stáčet rovinu polarizovaného světla o určitý úhel.

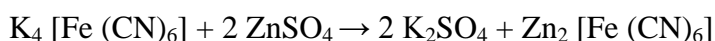
Úhel otočení roviny polarizovaného světla závisí na povaze analyzované látky, na povaze rozpouštědla, na teplotě a na vlnové délce. Specifická otáčivost je charakteristickou konstantou opticky aktivních látek. U kapalných látek i roztoků je to úhel, o který vrstva 1 dm roztoku, obsahujícího 1 g látky v 1 ml, stáčí rovinu polarizovaného světla za daných podmínek (teplota, vlnová délka). Hodnoty specifických otáčivostí nejsou pro dané látky univerzálními konstantami, nýbrž se vztahují k určitému rozpouštědлу. Vliv rozpouštědla může způsobit u téže látky změnu znaménka otáčení. Úhel otočení polarizovaného světla se měří na polarimetrech. Běžně se provádí při vlnové délce 589,3 nm a teplotě 20 °C.

Roztoky, u nichž se měří úhel otočení, musí být dokonale čiré, a proto se musí u analyzovaných vzorků provádět čiření. Nejpoužívanější je čiření podle Carreze. Čiřícího účinku je zde dosaženo vytvořením objemné sraženiny hexakynoželeznanu zinečnatého.

❖ Činidla

Carrez I: 30 hmot. % $ZnSO_4$

Carrez II: 15 hmot. % $K_4 [Fe (CN)_6]$



Vysokou účinnost mají tyto činidla zejména v kyselém prostředí. Dokonale odstraňují bílkoviny.

V principu metoda zahrnovala dva postupy. Nejprve byl vzorek podroben působení zředěné kyseliny chlorovodíkové.

Po vyčerení a filtraci byla optická rotace roztoku měřena polarimetricky. Rozdíly mezi těmito měřeními násobený známým faktorem potom udává obsah škrobu ve vzorku.

❖ Stanovení optické otáčivosti

Do 100 ml odměrné baňky bylo odváženo 5 g mouky a to třikrát pro každý vzorek mouky. K tomuto množství bylo přidáno 25 ml roztoku HCl o složení 1,124 %.

Obsah baňky byl důkladným kroužením promíchán a stěny baňky byly opláchnuty dalšími 25 ml roztoku HCl.

Potom byla baňka vložena do vroucí lázně a zahřívána po dobu 15 min. Během prvních 3 min byla baňka promíchána stále ponořena do vodní lázně.

Po zahřívání byla baňka vyjmuta z vodní lázně a bylo přidáno dalších 20 ml roztoku kyseliny chlorovodíkové a obsah v baňce se ochladil. Následovalo vyčerení podle Carreze. Nejprve byl přidán 1 ml Carrez I a baňka byla důkladně promíchána. Potom byl přidán 1 ml Carrez II a obsah byl opětovně promíchán. Po 5 min působení byla baňka doplněna po rysku destilovanou vodou a roztok byl zfiltrován. První podíly filtrátu byly vráceny zpět na filtr. U čirého filtrátu se úhel otočení α měřil při teplotě 20 °C.

❖ Výpočet a vyjádření výsledku

Obsah škrobu v % (w/w) byl vypočten podle vzorce:

$$X = \frac{100 \cdot \alpha}{[\alpha]_{\lambda}^t \cdot l \cdot n} \cdot 100$$

kde:

l – tloušťka vrstvy (délka polarimetrické trubice) [dm]

n – navážka [g]

$[\alpha]_{\lambda}^t$ – specifická otáčivost při teplotě t a vlnové délce $[\alpha]$ pro *pšeničný škrob* (182,7 °)

Obsah škrobu v analyzovaném vzorku se pak stanovil ze vztahu (hmot. %):

$$\check{S} = \frac{c \cdot 100}{n} \cdot 100$$

kde:

n – navážka vzorku k analýze (g)

c – obsah škrobu ($\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$)

Š – obsah škrobu (%)

Obsah škrobu byl stanovován ve třech opakováních a vyjádřen v % (m/m) jako aritmetický průměr a směrodatná odchylka.

6.3 Statistické vyhodnocení dat

Pro analýzu dat byl použit program QC Expert, verze 3.0 [48], STATISTICA CZ, verze 9 [49]. Byl aplikován parametrický test srovnávající střední hodnoty dvou nezávislých výběrů a korelace. Pro zjištění struktur ve znacích byla použita analýza hlavních komponent a shluková analýza (Wardova metoda)

Všechna statistická hodnocení byla provedena na hladině významnosti 5 %.

7 VÝSLEDKY A DISKUZE

7.1 Stanovení obsahu vlhkosti

Vlhkost byla stanovována pomocí referenční metody. Obsah vlhkosti vzorků mouk je uveden v Příloze I. Průměrná vlhkost ve vzorcích se pohybovala mezi 15,6 - 16,1 % výrobku. Nejnižší hodnota vlhkosti byla zaznamenána u *vzorku 88* (14,9 %) a nejvíce vlhkosti vykazoval *vzorek 103* (16,3 %).

7.2 Stanovení obsahu škrobu

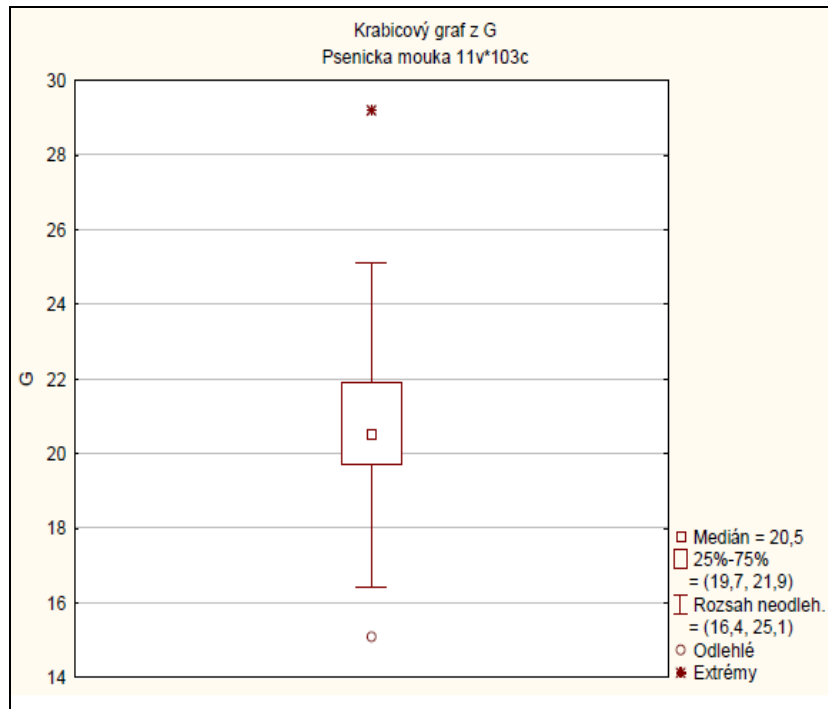
Obsahy škrobu ve vzorcích jsou uvedeny v Příloze II. Hodnoty škrobu zjištěné polarimetrickou metodou podle Ewarse prokázaly, že průměrný obsah škrobu v jednotlivých vzorcích mouk se pohybuje v rozmezí 68 - 69 %.

Největší množství škrobu bylo zjištěno ve *vzorku 120*, a to 73,5 %. Naopak nejméně škrobu vykazoval *vzorek 68*, a to v množství 56,2 %.

7.3 Statistické vyhodnocení dat

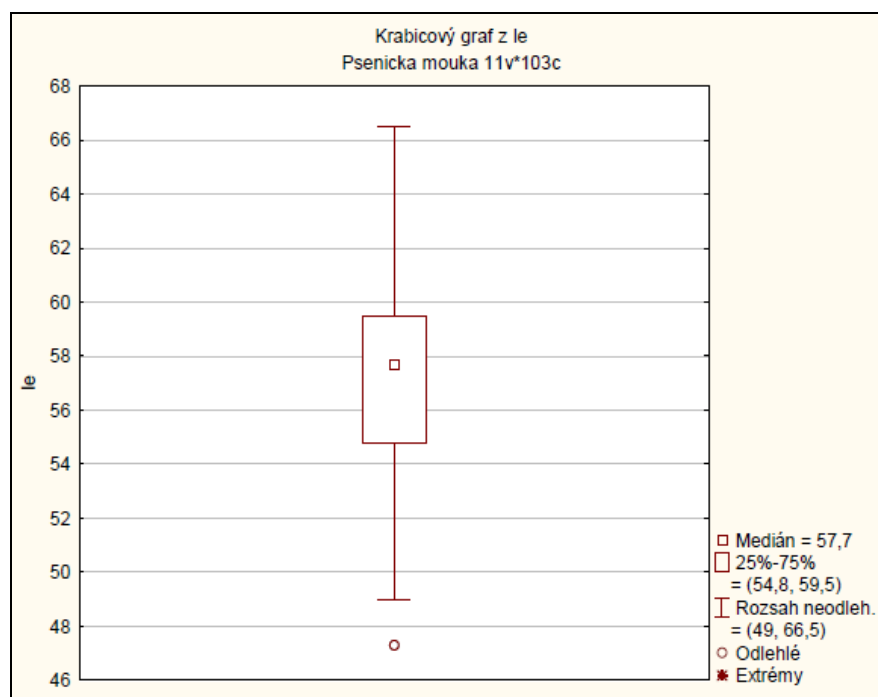
7.3.1 Extrémy a odlehlé objekty

Krabicové grafy vyobrazují proměnlivost každého znaku a popřípadě odlehlé objekty. Výhodné zobrazení odlehlých hodnot je formou krabicového grafu, ze kterého vyplývá, že výběr obsahuje extrémní i odlehlé body, které je zapotřebí vyšetřit. Extrémy i odlehlé body by mohly zkreslit výsledek analýzy. Objekty, jejichž data by byly neúplné, byly z analýzy vypuštěny (jednalo se o 31 vzorků).



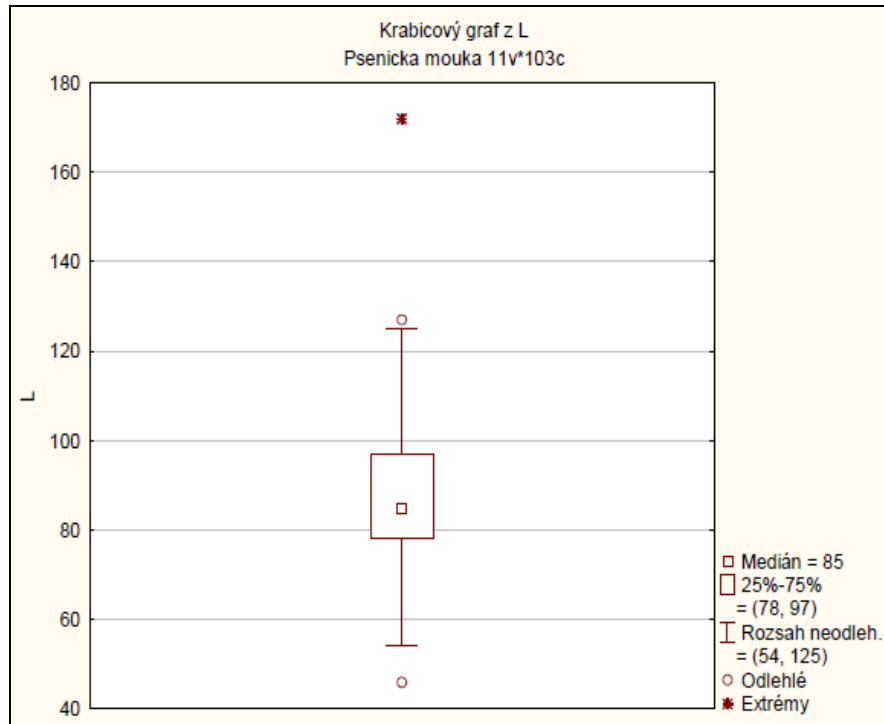
Obr. 17 Krabicový graf standardizovaných dat (parametr G)

Z Obr. 17 vyplývá, že extrémní objekt (vzorek 7) vykázal výrazně větší hodnotu parametru G a byl z výběru odstraněn. Odlehlý objekt (vzorek 85) překročil svojí hodnotou mezní stav a z výběru byl také odstraněn.



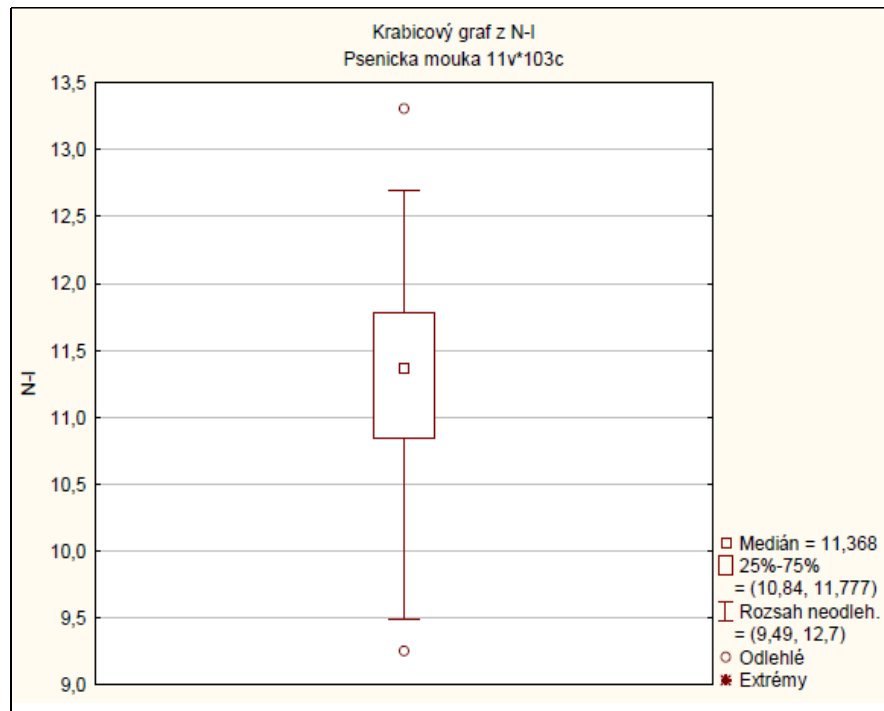
Obr. 18 Krabicový graf standardizovaných dat (parametr I_e)

Odlehlé objekty (vzorky 48, 51) prokázaly větší hodnotu parametru I_e , a proto byly označeny jako mezní stavy. Ostatní objekty byly vyhodnoceny jako mezní a z výběru byly odstraněny (viz Obr. 18).



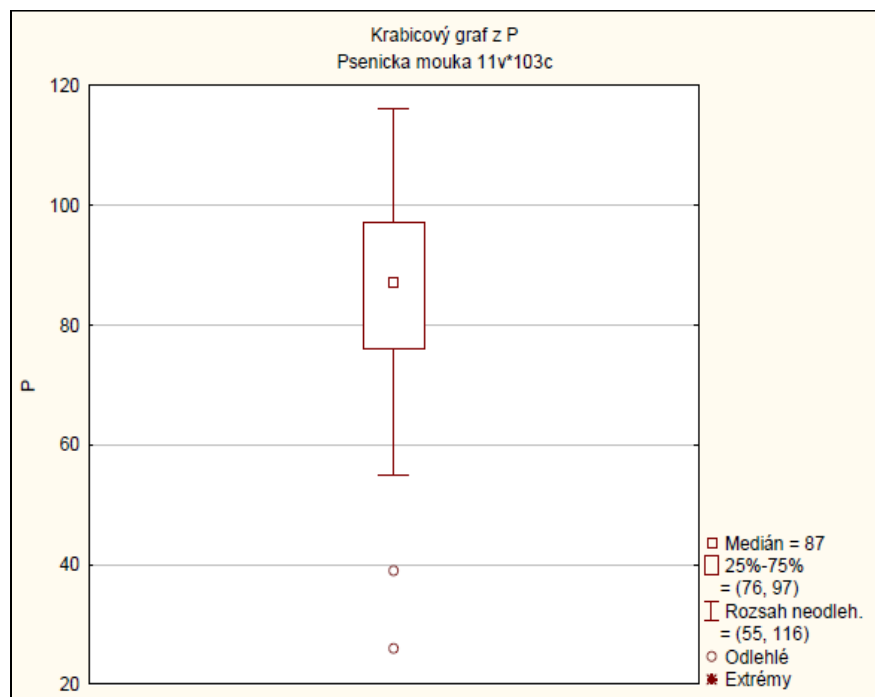
Obr. 19 Krabicový graf standardizovaných dat (parametr L)

Vzorek 7 projevil značně vyšší hodnotu parametru L , z tohoto důvodu byl z výběru odstraněn a označen jako extrémní. Vzorek 85 byl označen jako extrémní a z výběru byl odstraněn. Vzorek 91 vykázal hodnoty parametru L přibližně stejné jako většina zkoumaných vzorků, a proto byl společně s ostatními vzorky ve výběru ponechán (viz Obr. 19).



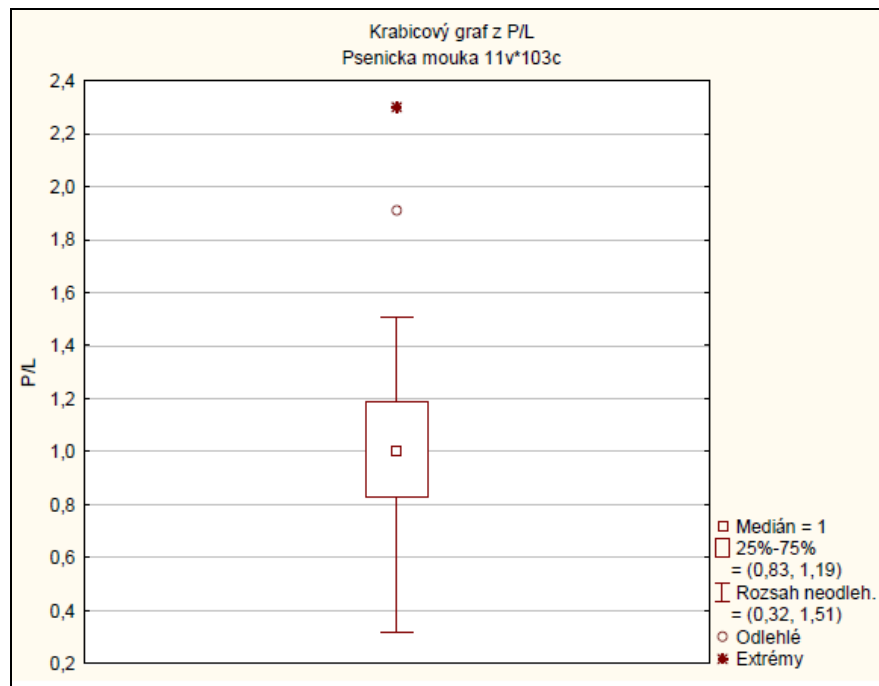
Obr. 20 Krabicový graf standardizovaných dat (parametr **N-I**)

Odlehlé objekty (vzorky 3, 20) v případě dusíkatých látek překročily svojí hodnotou hranici mezního stavu, ve kterém se nacházela většina vzorků. Tyto objekty byly vyhodnoceny jako mezní a z výběru byly odstraněny.



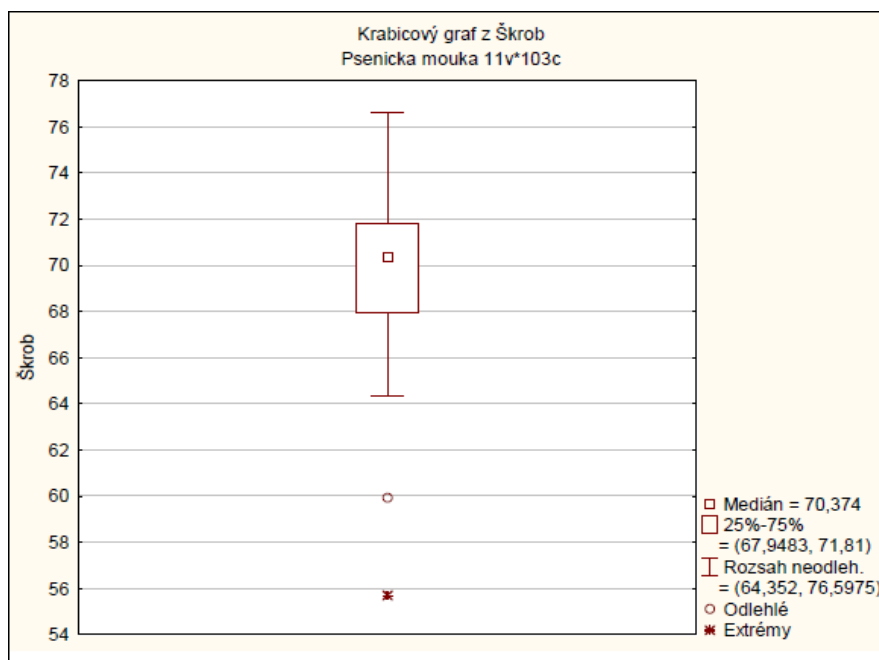
Obr. 21 Krabicový graf standardizovaných dat (parametr **P**)

Odlehlé objekty (vzorky 9, 14) byly z výběru také odstraněny z důvodu velmi vysoké hodnoty pevnosti těsta, která překročila mezní stav ostatních vzorků (viz Obr. 21).



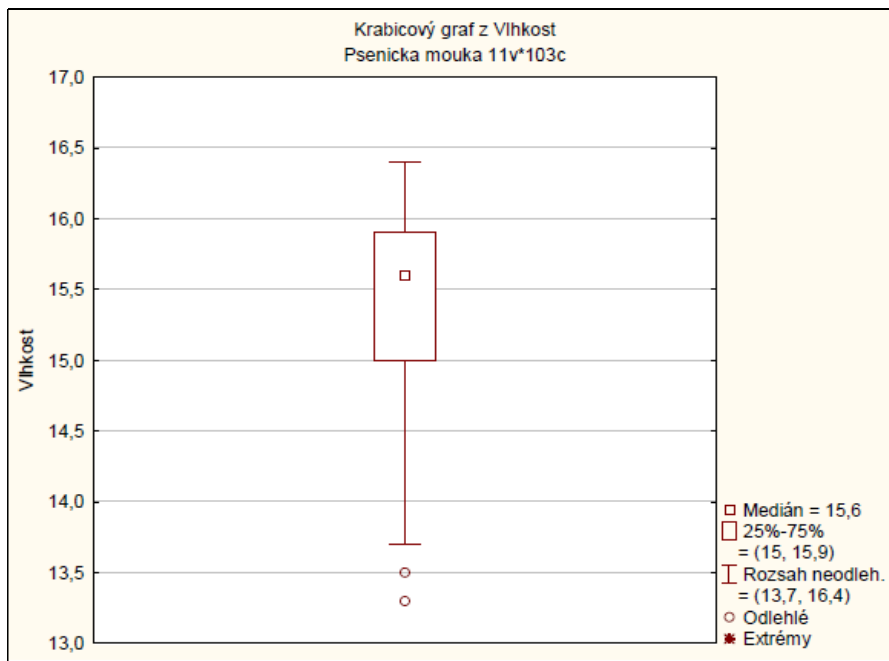
Obr. 22 Krabicový graf standardizovaných dat (parametr P/L)

Vzorek 47 byl označen jako odlehlý objekt, ale výše hodnoty parametru P/L je v rámci mezních hodnot a ve výběru byl tento objekt ponechán. Jako extrémní objekt byl vybrán vzorek 85 a z výběru byl odstraněn, protože překročil mezní hranici (viz Obr. 22).



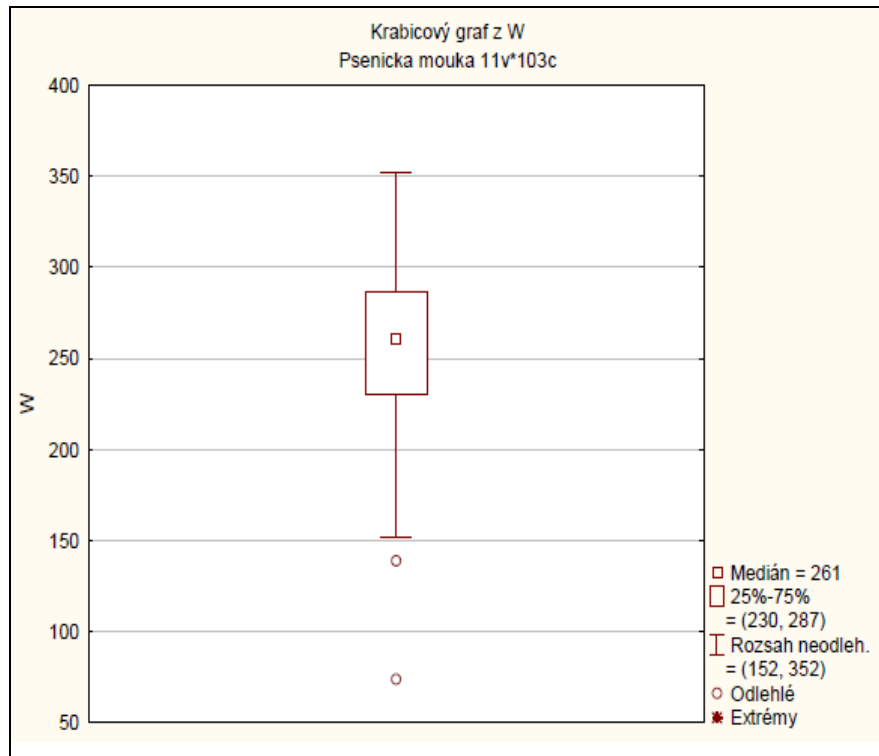
Obr. 23 Krabicový graf standardizovaných dat (parametr škrob)

Vzorek 7 byl podle analýzy (viz Obr. 23) označen jako odlehlý bod a jelikož přesáhnul hranici mezní hodnoty byl z výběru odstraněn, stejně jako extrémní bod (vzorek 67).



Obr. 24 Krabicový graf standardizovaných dat (*parametr vlhkost*)

V případě analýzy vlhkosti byl jako odlehlý bod označen vzorek 14 a 53. Vzorek 14 byl z výběru odstraněn a vzorek 53 byl ve výběru ponechán, protože jeho hodnota se nachází v blízkosti mezní hranice (viz Obr. 24).



Obr. 25 Krabicový graf standardizovaných dat (parametr **W**)

Odlehlé body v případě parametru **W** byly označeny vzorky 9 a 14, jelikož jejich hodnota překročila hranici mezní hodnoty, byly z výběru odstraněny (viz Obr. 25).

Z uvedených údajů se dá odvodit, že většina vzorků mouk v rámci analýzy nepřekročila hranici mezní hodnoty a proto byly ve výběru ponechány. Odlehlé a extrémní body, které byly identifikovány během analýzy, byly buď ve výběru ponechány či odstraněny.

Celkem bylo odstraněno 6 bodů (vzorků). Z tohoto vyplývá, že v další části analýzy bylo již pracováno s 97 vzorky.

7.3.2 Základní popisné charakteristiky

Tab. 10 popisuje množství platných objektů příslušného znaku, které jsou zahrnuty do modelu.

Tab. 10 Popisné statistiky

Proměnná	Popisné statistiky (Psenicka mouka)					
	N platných	Průměr	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch.
Škrob	97	70,0686	64,3520	75,7117	6,180	2,48591
Vlhkost	97	15,4516	13,5000	16,4000	0,358	0,59831
N-I	97	11,2764	9,2550	12,7000	0,436	0,66014
P	97	86,5876	55,0000	116,0000	170,849	13,07092
L	97	86,8557	54,0000	127,0000	218,083	14,76764
G	97	20,6722	16,4000	25,1000	3,091	1,75824
W	97	259,3814	152,0000	352,0000	1660,426	40,74832
P/L	97	1,0348	0,4400	1,9100	0,070	0,26393
I _e	97	57,2649	47,3000	66,5000	14,192	3,76721

*N-I = dusíkaté látky; P = pevnost těsta;

L = tažnost těsta; G = index nafouknutí;

W = energie, pekařská síla mouky;

P/L = konfigurační poměr křivky; I_e = index elasticity

Tab. 10 také uvádí pro každý znak jeho průměrnou hodnotu, minimální a maximální hodnotu, dále rozptyl a směrodatnou odchylku. Data musí být před další analýzou standardizována, protože některé ze znaků mají příliš velký rozptyl oproti ostatním. Provedenou standardizací se zároveň odstraní závislost na fyzikálních jednotkách.

Korelační matice je uvedena v Tab. 11. Červeně jsou zvýrazněny statisticky významné korelace na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

Tab. 11 Korelační matice znaků

Proměnná	Korelace (Psenicka mouka)							
	Průměry	Sm.odch.	Škrob	Vlhkost	N-I	P	L	G
Škrob	70,0686	2,48591	1,000000	0,104753	-0,095787	0,075273	-0,108802	-0,107198
Vlhkost	15,4516	0,59831	0,104753	1,000000	0,142368	0,249540	-0,062115	-0,053991
N-I	11,2764	0,66014	-0,095787	0,142368	1,000000	-0,131943	0,394891	0,399796
P	86,5876	13,07092	0,075273	0,249540	-0,131943	1,000000	-0,398627	-0,378702
L	86,8557	14,76764	-0,108802	-0,062115	0,394891	-0,398627	1,000000	0,998181
G	20,6722	1,75824	-0,107198	-0,053991	0,399796	-0,378702	0,998181	1,000000
W	259,3814	40,74832	-0,035031	0,128686	0,197794	0,644561	0,359094	0,383069
P/L	1,0348	0,26393	0,134624	0,161112	-0,350652	0,776314	-0,848109	-0,847796
I _e	57,2649	3,76721	0,010092	-0,177079	0,147891	-0,117069	0,181343	0,187829

K analýze bylo přijato 97 vzorků (po odstranění extrémních a odlehlých bodů, viz kapitola 7. 3. 1.) a u těchto byla provedena korelační matice znaků.

Na vlhkost zrna mají vliv podmínky sklizně a u mouky způsobuje vlhkost nakrápění zrna a také stáří mouky (popřípadě výpar vody). Vlhkost pozitivně koreluje s pevností těsta (**P**). Korelace je poměrně malá, ale i přesto množství vlhkosti ovlivňuje pevnost těsta.

Dusíkaté látky, zejména lepkové bílkoviny, jsou ve vzájemné korelaci s tažností těsta (**L**), indexem nafouknutí (**G**) a konfiguračním poměrem křivky (**P/L**). Čím více je přítomno lepkových bílkovin, tím více je v těstě lepku. Těsto je pak tažné a je nebezpečí tvorby prostorové lepkové sítě.

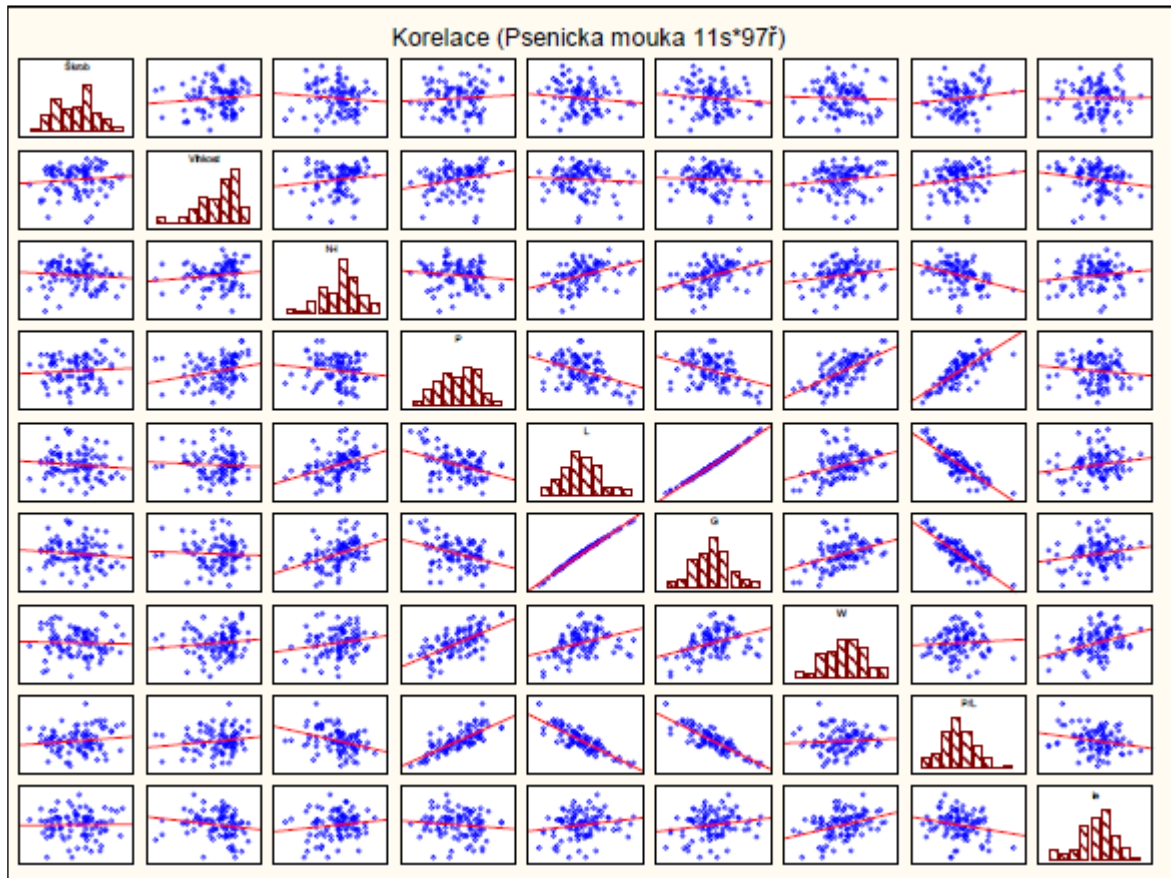
Pevnost těsta (**P**) negativně koreluje s tažností těsta (**L**) a indexem nafouknutí (**G**). Významná pozitivní korelace pevnosti těsta je s energetickou silou mouky (**W**) a s konfiguračním poměrem křivky (**P/L**). Parametr P/L významně koreluje s parametrem P, protože spolu úzce souvisí.

Tažnost těsta (**L**) vykazuje vysokou pozitivní korelaci s indexem nafouknutí (**G**). Parametry jsou ovlivněny množstvím a plností lepkových bílkovin. Pozitivní korelace je shledána i s parametrem W, síla mouky má velký vliv na tažnost těsta L.

Významná negativní korelace byla zaznamenána mezi konfiguračním poměrem křivky (**P/L**) s tažností těsta (**L**) a indexem nafouknutí (**G**).

7.3.3 Grafické zobrazení vícerozměrných dat

Korelační matice se dá lépe a přesněji vystihnout pomocí maticového grafu korelace znaků, který je sestaven z rozptylových grafů pro všechny párové kombinace znaků (viz Obr. 26).

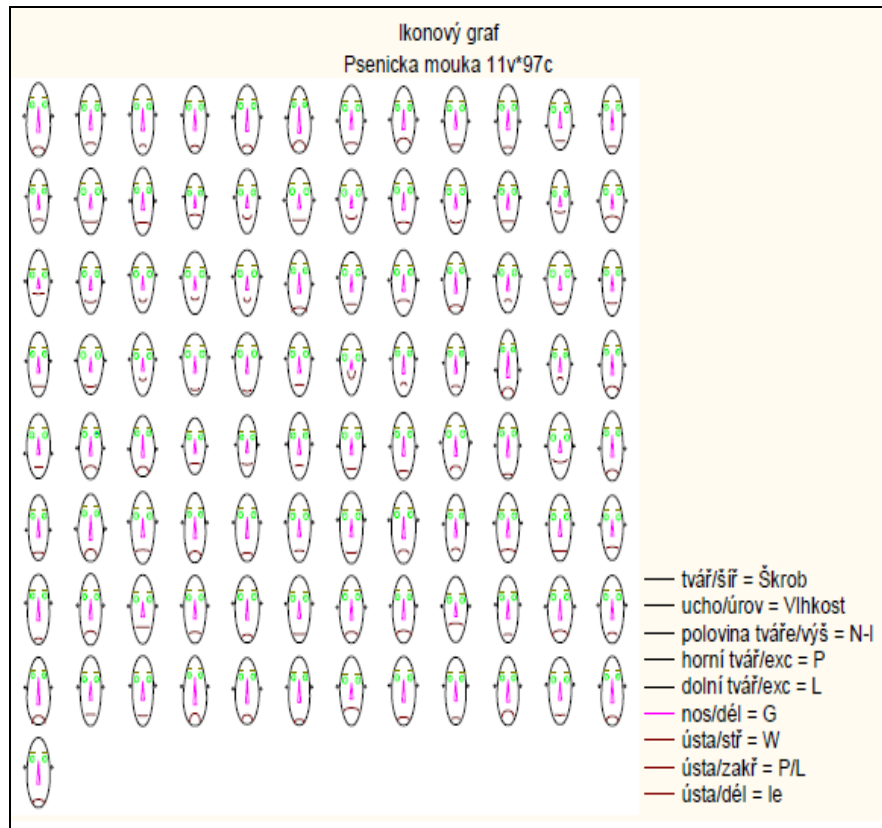


Obr. 26 Maticový graf korelace znaků

Při výběru proložení maticového grafu korelace znaků se musí použít takové proložení znaků, aby odpovídalo co největšímu počtu jednotlivých objektů v grafu.

Pokud jsou objekty soustředěny kolem přímky proložení, jde o vysoký korelační koeficient (cca 0,9999). Pokud jsou objekty soustředěny spíše dál od přímky proložení, potom se jedná o malý korelační koeficient (cca 0,111).

Na základě grafu lze identifikovat vybočující body ovlivňující párový korelační koeficient a strukturu objektů. Podobnost objektů lze zkoumat pomocí symbolových grafů.



Obr. 27 Ikonový graf – Chemoffovy tváře (polygony)

Ikonový graf slouží k identifikaci podobných objektů podle přibližně stejného tvaru tváře. Jednotlivé části tváře pak vysvětlují jeden určitý objekt. Tyto objekty vykazují podobnost i v přibližně podobných hodnotách příslušného znaku. Významně podobné byly vzorky 1 a 5. Podobnost spočívala jak ve velikosti tváře, tak v rozložení jednotlivých parametrů na tváři.

7.3.4 Analýza hlavních komponent (PCA)

Metodou PCA se analyzují vztahy a struktury mezi znaky a objekty. Cílem metody je nalézt znaky, které nejvíce ovlivňují kvalitu mouky a objekty, které jsou si podobné nebo naopak nepodobné ostatním objektům či vytvářející různé shluky. Znaky se formují do menšího počtu latentních proměnných.

7.3.4.1 Redukce znaků

Nejprve bude analýzou hlavních komponent vyšetřeno, zda-li je možné redukovat počet znaků, které jsou zahrnuty do modelu.

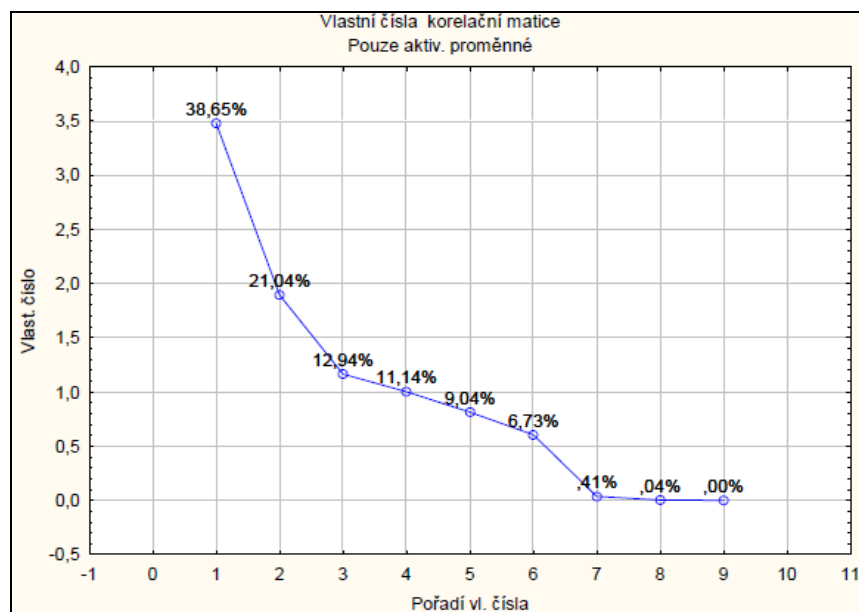
❖ *Výšetření Cattelova indexového grafu úpatí vlastních čísel*

Tab. 12 ukazuje tabelární podobu Cattelova indexového grafu úpatí vlastních čísel. Individuální a kumulativní procento popisuje proměnlivost v původních znacích, které vystihuje příslušná hlavní komponenta.

Tab. 12 Vlastní čísla

Vlastní čísla korelační matice a související statistiky (Psenicka mouka) Pouze aktiv. proměnné				
Pořadí vl.č.	vl. číslo	% celk. rozptylu	Kumulativ. vl. číslo	Kumulativ. %
1	3,455886	43,19858	3,455886	43,1986
2	1,893379	23,66724	5,349266	66,8658
3	1,162181	14,52726	6,511446	81,3931

Kaiserovo kritérium udává, že jsou vybírány pouze hlavní komponenty, které mají vlastní číslo λ větší nebo rovné 1. První tři latentní proměnné popisují zhruba 64 % z celkové proměnlivosti dat, první čtyři pokrývají 75 % proměnlivosti.



Obr. 28 Cattelův indexový graf úpatí vlastních čísel

Důležitým kritériem je však Cattelův indexový graf na úpatí vlastních čísel. Na osu x byly vyneseny indexy jednotlivých latentních proměnných a na osu y pak vlastní čísla λ .

Každý index hlavní komponenty je označen individuálním procentem, které objasňuje dotyčná hlavní komponenta.

Na základě grafu se určuje a rozlišuje zlomové místo mezi svislou stěnou a vodorovným dnem.

❖ Vyšetření grafu komponentních zátěží

Komponentní zátěže informují o korelaci mezi původními $m = 11$ znaky a hlavními komponentami. Jednotlivé body v grafu představují znaky, u kterých se pak porovnávají vzájemné vzdálenosti a úhel mezi průvodiči.

- Krátká vzdálenost nebo malý úhel mezi průvodiči:

Mezi dvěma znaky značí vysokou pozitivní korelaci. Shluky podobných znaků vyjadřují kladnou korelaci.

- Velká vzdálenost nebo velký úhel mezi průvodiči:

Mezi dvěma znaky značí vysokou negativní korelaci. Lze nalézt shluk podobných znaků, které jsou nepodobné jinému znaku a jsou to tedy shluky v záporné korelaci.

- Pravý úhel mezi průvodiči:

Je-li úhel mezi průvodiči dvou znaků 90° , není mezi nimi žádná korelace.

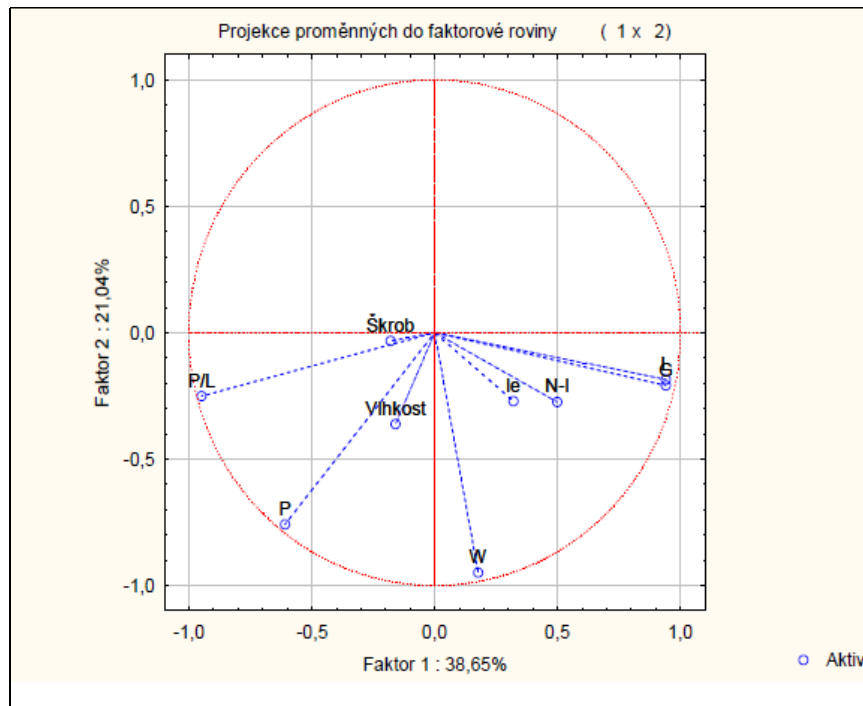
Souřadnice hlavních komponent jednotlivých znaků představují korelační koeficient mezi znakem a příslušnou hlavní komponentou. Graf komponentních zátěží slouží k hodnocení důležitosti původních znaků.

- Dlouhý průvodič nebo velká vzdálenost znaku od počátku:

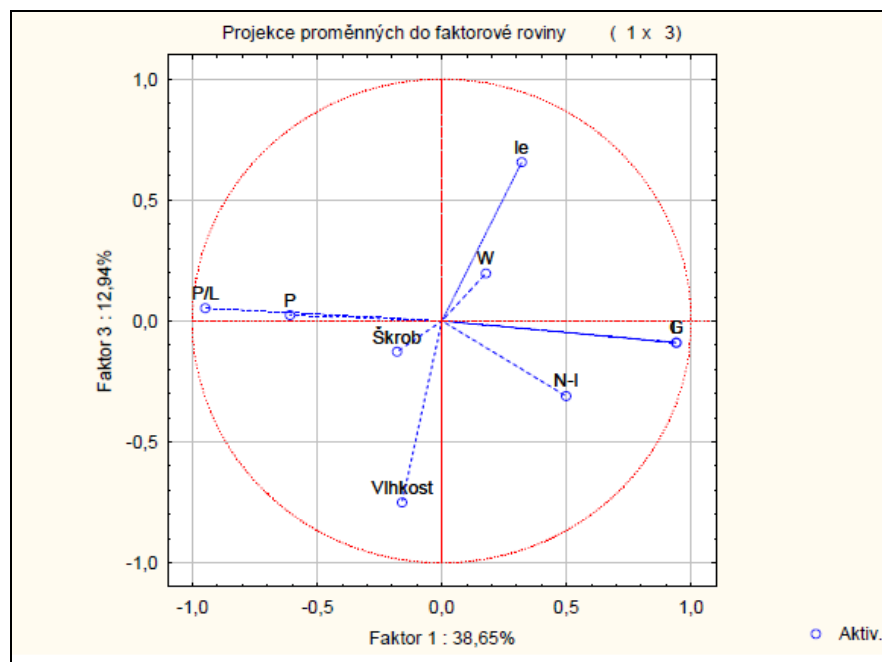
Znaky jsou pro analýzu důležité a vykazují vysokou variabilitu.

- Krátký průvodič nebo malá vzdálenost znaků od počátku:

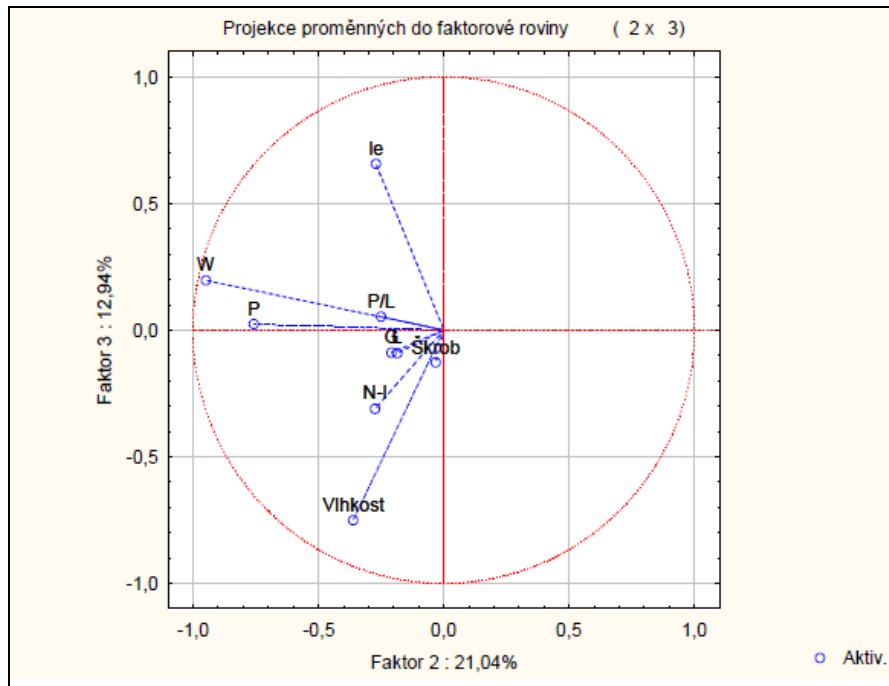
Znaky mají malou variabilitu a nejsou pro analýzu důležité. Takové znaky je možné z analýzy odstranit.



Obr. 29 Graf komponentních zátěží PC1 a PC2



Obr. 30 Graf komponentních zátěží PC1 a PC3



Obr. 31 Graf komponentních zátěží PC2 a PC3

Nyní bude vyšetřeno, zda je možné redukovat počet znaků. Z uvedených grafů komponentních zátěží (viz Obr. 29, 30, 31) patří mezi nejdůležitější graf komponentních zátěží PC1 a PC2 (viz Obr. 29), který vystihuje největší část proměnlivosti (variability).

Parametr **G** významně koreluje a je si velice podobný s parametrem **L** i **Fe** a **Ie**.

Mezi parametry **N-I** a **P** korelace neexistuje, protože je mezi nimi pravý úhel (tzn. 90 °). Parametry **W** a **G** vykazují vysokou negativní korelaci, protože mezi průvodiči je velká jak vzdálenost, tak i úhel.

Vysoká kladná korelace je zaznamenána mezi parametry **vlhkosti** a **P**, jejich průvodiče svírají malý úhel a vzdálenost průvodičů je taktéž malá.

Mezi parametry, které jsou pro analýzu velmi důležité, patří **P/L**, **P**, **W**, **G**, a **L**, jelikož mají dlouhé průvodiče a vzdálenost od počátku je velká.

Parametr **škrob** byl z analýzy odstraněn, z důvodu krátkého průvodiče. Z toho vyplývá, že má malou variabilitu a pro analýzu není důležitý.

7.3.4.2 Hledání vazeb a struktury ve znacích a objektech

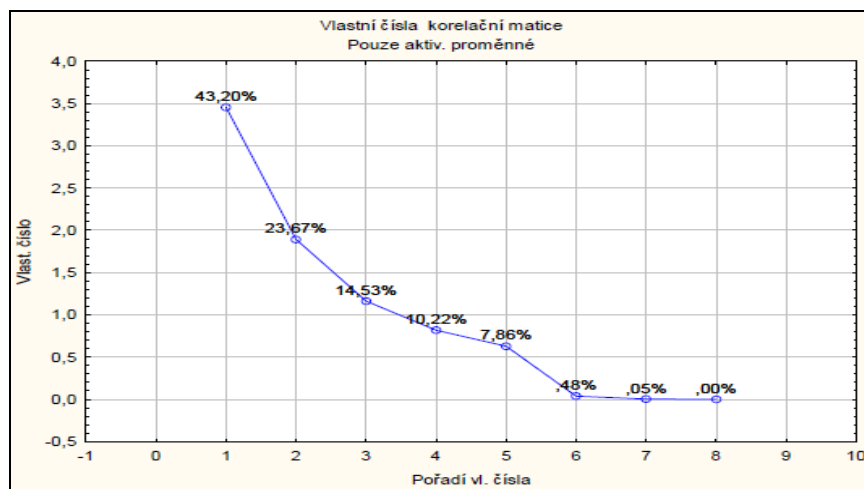
Odstraněním znaku škrobu došlo k redukci proměnných zahrnutých do modelu hlavních komponent z 11 na 10. Proto je nutné znovu provést výpočet modelu, neboť je třeba analyzovat výběr bez rozptylu znaku škrobu. Metoda hlavních komponent je závislá na rozptylu všech znaků použitých k výpočtu modelu. Odstraněním některého ze znaků dojde k vyčíslení odlišných vlastních čísel, komponentních vah a komponentního skóre.

❖ Vyšetření Cattelova indexového grafu úpatí vlastních čísel

K určení počtu využitých hlavních komponent slouží vlastní čísla, jejichž tabelární podoba je uvedena v Tab. 13 a graficky znázorněná v Cattelově indexovém grafu úpatí vlastních čísel (viz Obr. 32).

Tab. 13 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	3,455886	43,19858	3,455886	43,1986
2	1,893379	23,66724	5,349266	66,8658
3	1,162181	14,52726	6,511446	81,3931
4	0,817789	10,22236	7,329236	91,6154
5	0,628719	7,85898	7,957954	99,4744
6	0,038007	0,47509	7,995962	99,9495
7	0,003692	0,04615	7,999654	99,9957
8	0,000346	0,00433	8,000000	100,0000



Obr. 32 Cattelův indexový graf úpatí vlastních čísel

Na základě grafu na Obr. 32 lze pozorovat první zlom u indexu 3. K analýze tedy budou vybrány první tři hlavní komponenty, které vystihují zhruba 64 % proměnlivosti.

❖ Výpočet vlastních vektorů pro hlavní komponenty

Vektory jsou koeficienty rovnice, které umožňují kombinovat předem normované znaky. Tyto koeficienty se nazývají **komponentní váhy** (vlastní vektory) a popisují relativní důležitost znaku vzhledem k hlavní komponentě (viz Tab. 14).

Tab. 14 Vlastní vektory

Proměnná	Vlastní vektory korelační matice (Pš. mouka)		
	Pouze aktiv. proměnné		
	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
Vlhkost	-0,082780	-0,261357	-0,687089
N-I	-0,267887	-0,198907	-0,294214
P	-0,327891	-0,552103	0,012103
L	0,507337	-0,133221	-0,078670
G	0,506573	-0,150111	-0,077299
W	0,095326	-0,689808	0,178627
P/L	-0,510463	-0,183890	0,041790
I_e	0,173796	-0,195111	0,628794

Důležitost znaků vzhledem k příslušné hlavní komponentě:

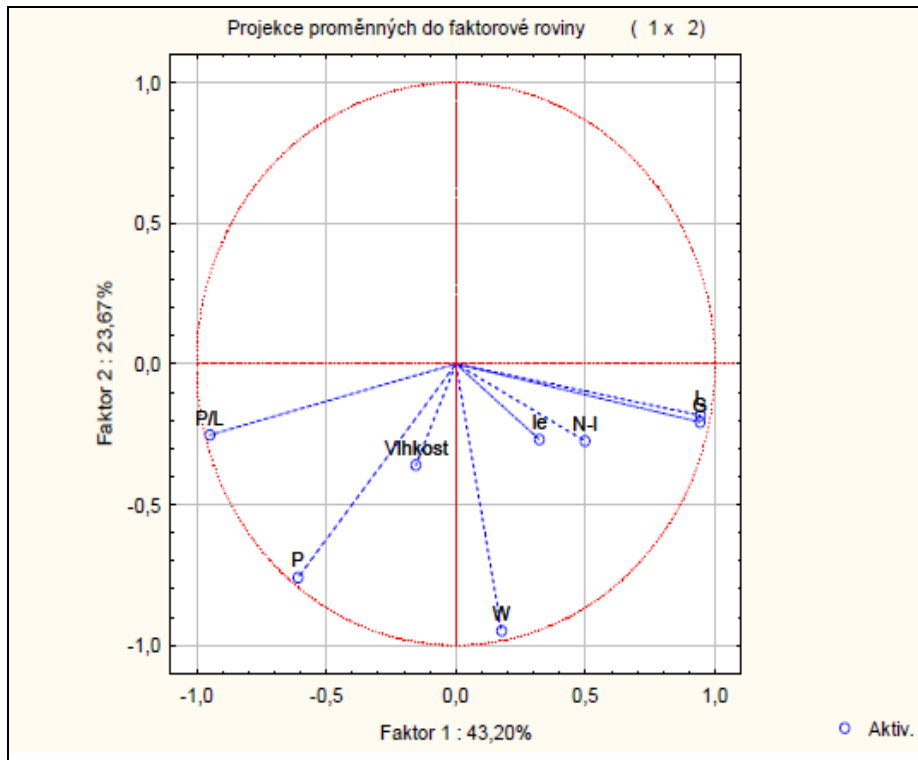
- První hlavní komponenta – nejdůležitějším je znak **P/L** se zápornou váhou
- Druhá hlavní komponenta – nejdůležitějším znakem je znak **W** se zápornou váhou
- Třetí hlavní komponenta – nejdůležitějším je znak **vlhkost** se zápornou komponentní váhou.

❖ *Vyšetření grafu komponentních zátěží*

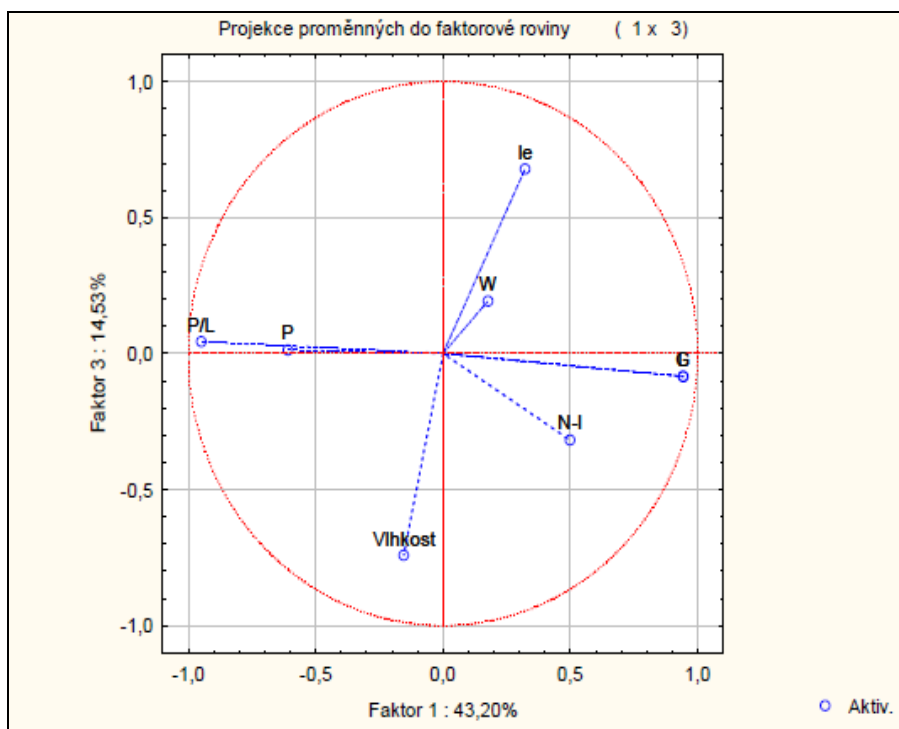
Tabelární podoba grafu komponentních zátěží (viz Obr. 33, 34, 35) popisuje číselně hodnoty korelací mezi původními znaky a hlavními komponentami (viz Tab. 15). Korelace pak zároveň slouží jako souřadnice znaků.

Tab. 15 Komponentní zátěže

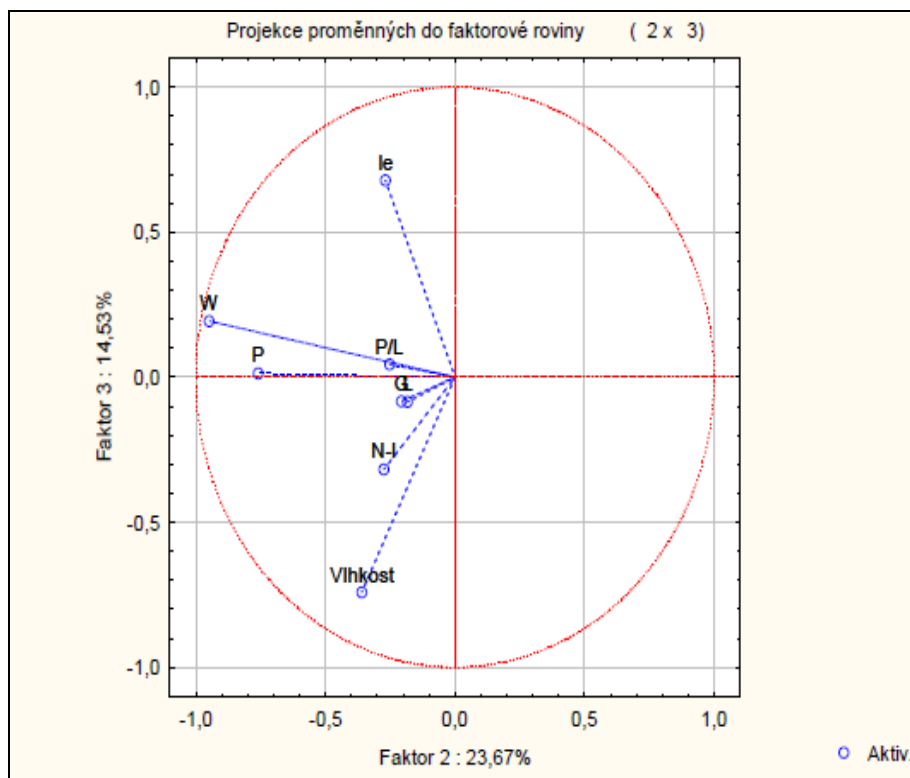
Proměnná	Faktorové souřadnice proměnných podle korelací		
	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
Vlhkost	-0,153887	-0,359628	-0,740713
N-I	0,498001	-0,273696	-0,317176
P	-0,609550	-0,759694	0,013048
L	0,943140	-0,183313	-0,084810
G	0,941720	-0,206554	-0,083332
W	0,177211	-0,948489	0,192568
P/L	-0,948952	-0,253033	0,045052
I_e	0,323088	-0,268474	0,0677868



Obr. 33 Graf komponentních zátěží PC1 a PC2



Obr. 34 Graf komponentních zátěží PC1 a PC3



Obr. 35 Graf komponentních zátěží PC2 a PC3

PC1 a PC2 objasňují největší proměnlivost, proto jsou nejdůležitější k vysvětlení vztahů mezi znaky. Znaky, které jsou umístěné v grafu ve stejném směru vůči počátku, se vzájemně ovlivňují a vykazují pozitivní korelaci. Znaky, které jsou umístěné v opačném směru od počátku, jsou negativně korelované.

Z grafu na Obr. 33 lze vyčíst, že parametry *L*, *G*, *I_e*, *N-I*, a *W* jsou vzájemně kladně korelované. *P/L*, *vlhkost* a *P* jsou vzájemně pozitivně korelované, ale zároveň jsou negativně korelované s předchozím shlukem znaků. Mezi parametry *P* a *N-I* nebyla zjištěná korelace žádná, protože svírají pravý úhel.

❖ Vyšetření rozptylového diagramu komponentního skóre

Souřadnice každého objektu na osách hlavních komponent se nazývají *skóre*. Vyšetřením diagramu lze nalézt shluky vzájemně podobných objektů, dále odlehlé objekty a extrémy.

Diagnostika rozptylového diagramu se týká:

- Umístění objektů:

Daleko od centra se nacházejí extrémy a blízko počátku je umístění objektů nejtypičtější.

- Podobnosti objektů:

Vzájemně malé vzdálenosti svědčí o podobnosti objektů, velké vzdálenosti o jejich nepodobnosti.

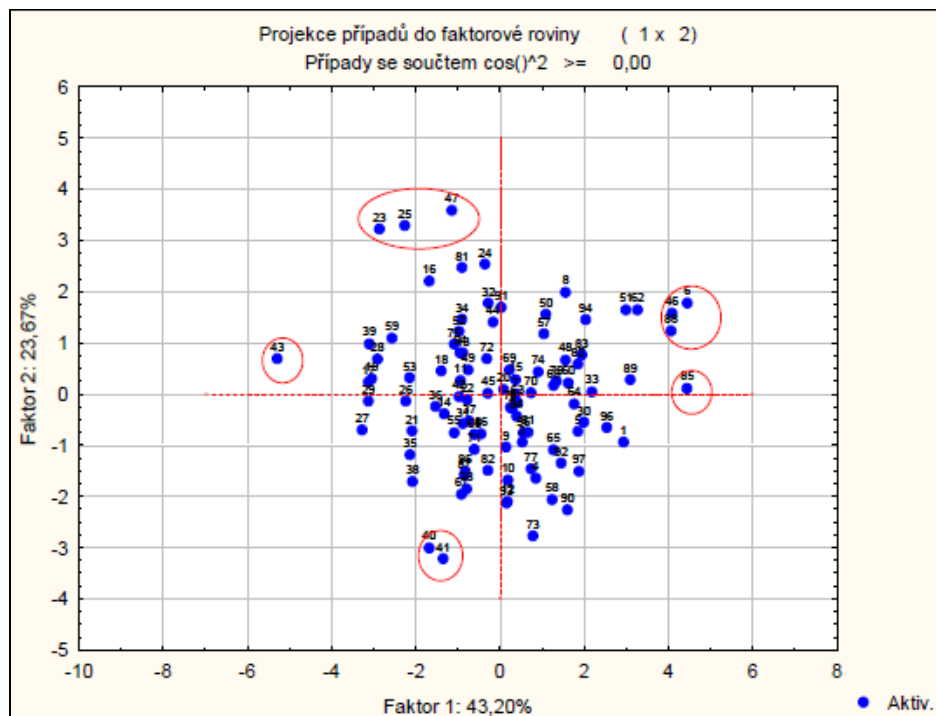
- Objektů ve shluku:

Objekty, které jsou si velmi podobné, vytvářejí shluk a jsou nepodobné ostatním shlukům objektů.

- Osamělých objektů:

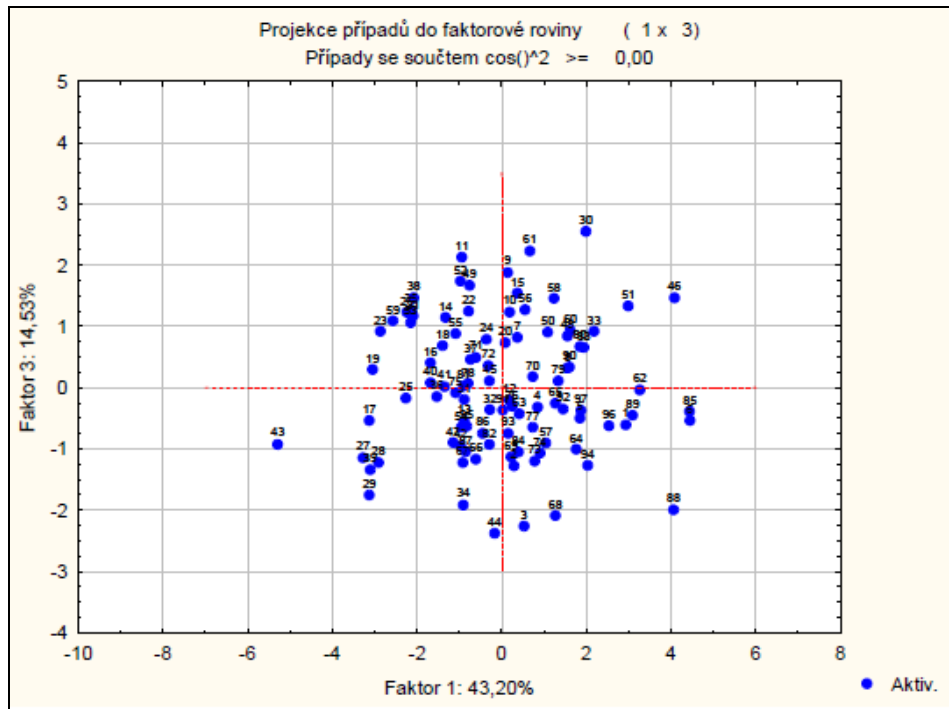
Odlehlé objekty ovlivňují výsledky analýzy PCA. Jedná se o objekty, které jsou silně nepodobné ostatním objektům (izolované).

Objekty rozptylového diagramu komponentního skóre lze vhodně pojmenovat k hledání hlubších souvislostí mezi objekty.

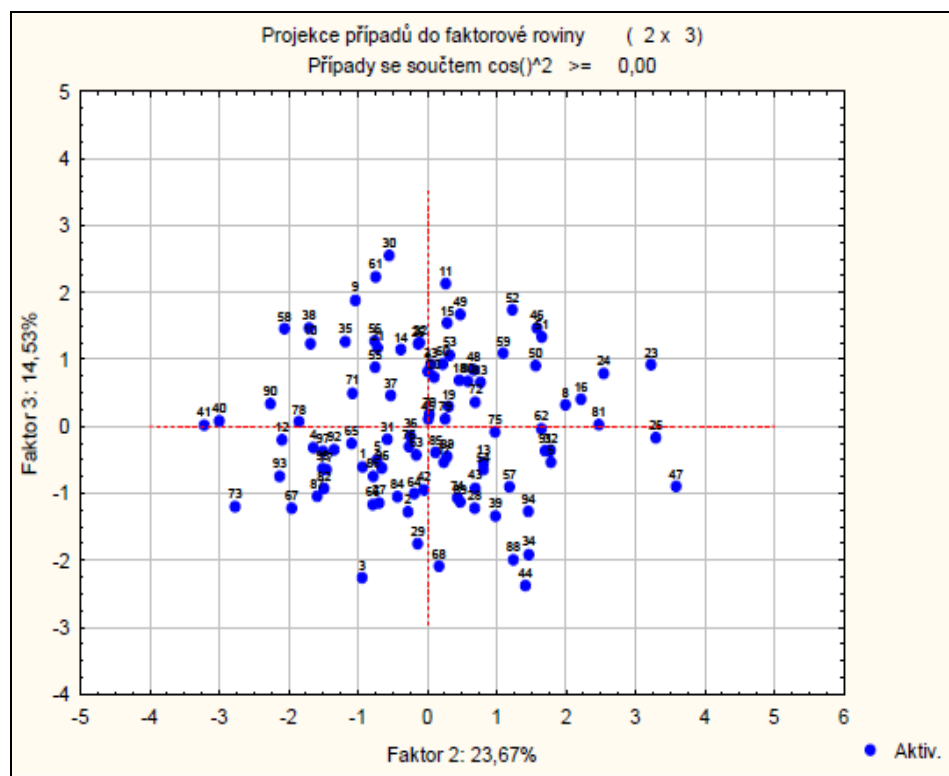


Obr. 36 Rozptylový diagram komponentního skóre PC1 a PC2

při popisu vzorků indexy



Obr. 37 Rozptylový diagram komponentního skóre PC1 a PC3 při popisu vzorků indexy



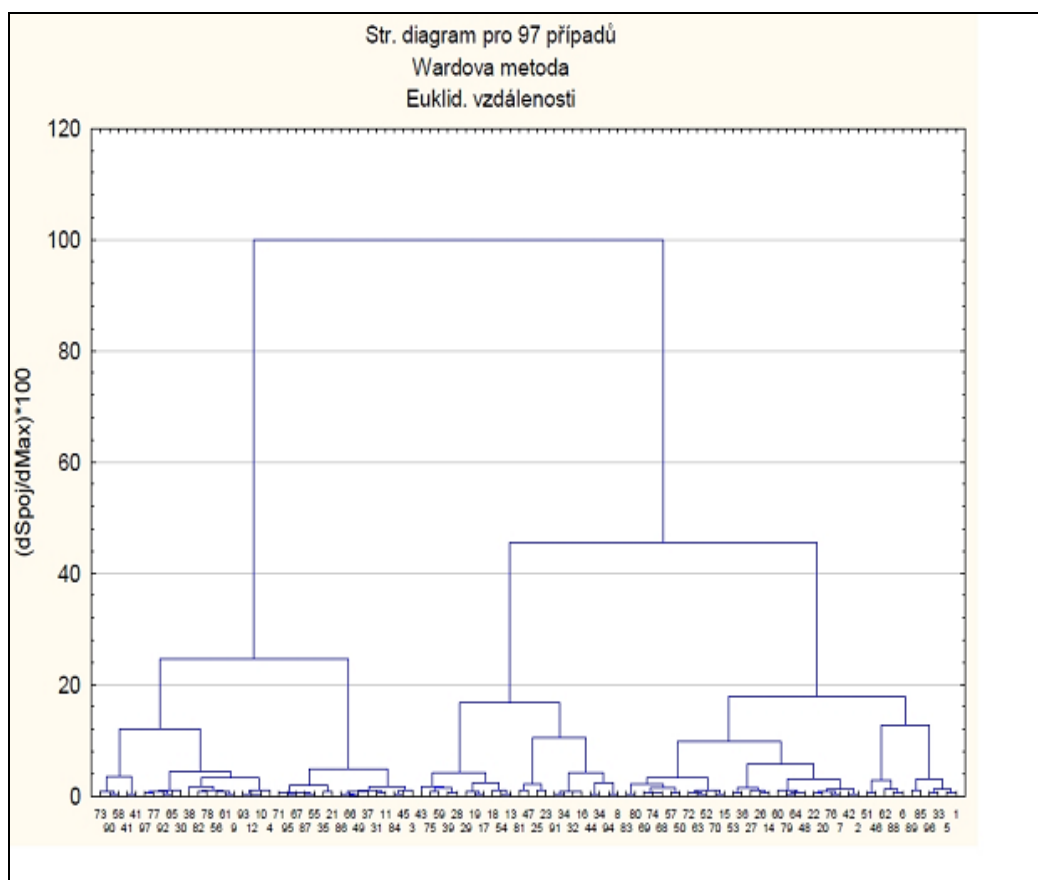
Obr. 38 Rozptylový diagram komponentního skóre PC1 a PC3 při popisu vzorků indexy

Rozptylový diagram komponentního skóre pro *PC1* a *PC2* (viz Obr. 36, 37) popisuje největší část informace obsažené v datech. Z tohoto diagramu vyplývají následující závěry:

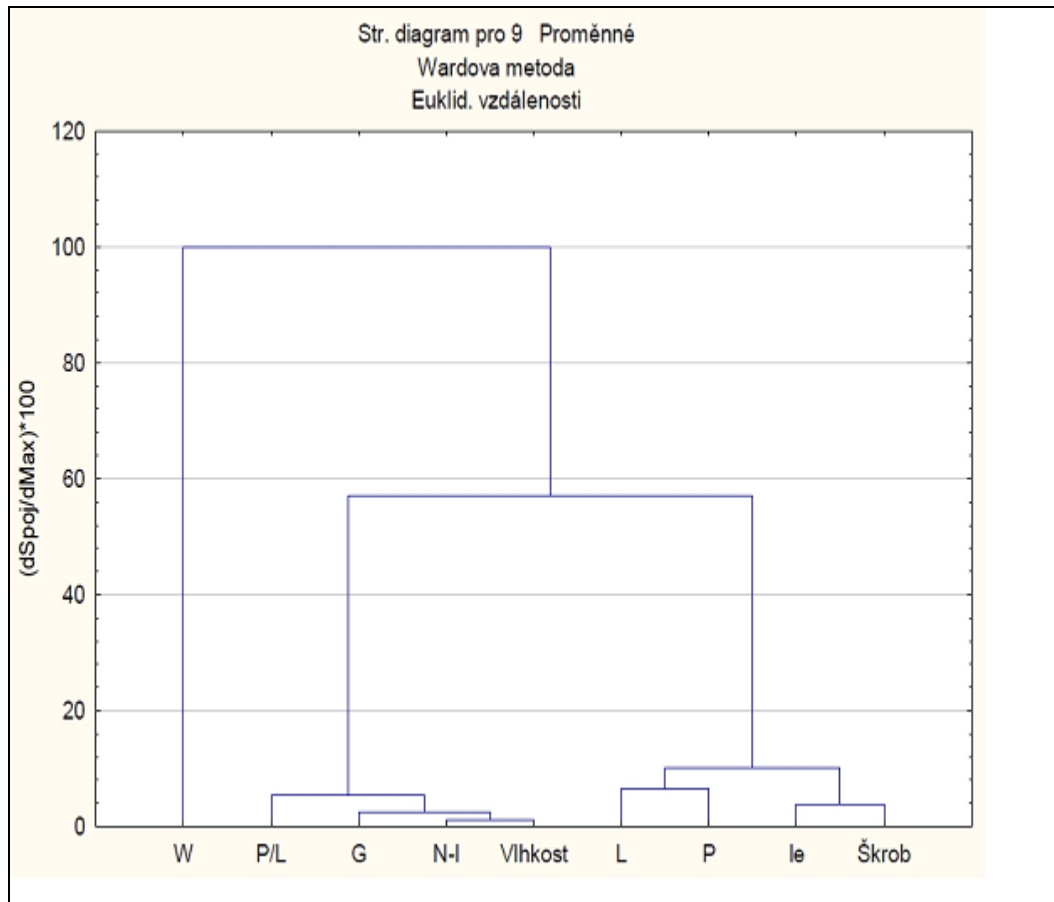
- Vzorky *40* a *41* jsou odlehlé objekty. Vzdálenost těchto dvou vzorků je malá, což svědčí o podobnosti těchto vzorků.
- Vzorek *43* je objekt izolovaný, tudíž silně nepodobný ostatním objektům.
- Vzorek *85* je objekt izolovaný a je nepodobný ostatním objektům.
- Vzorky *88*, *46* a *6* jsou objekty, které vytvářejí shluk a jsou si navzájem velmi podobné. Vůči ostatním objektům jsou nepodobné.
- Vzorky *23*, *25*, *47* jsou objekty, které se nacházejí daleko od centra. Jsou to extrémny, které vytvářejí mírný shluk, a proto se dá předpokládat, že tyto objekty jsou si ve větší míře podobné.

7.3.5 Shluková analýza

Pro analýzu byla použita Wardova metoda, jejímž principem je minimalizace heterogenity shluků podle kritéria minima přírůstku vnitroskupinového součtu čtverců odchylek od těžiště shluků. Konečný počet shluků se nazývá terminační kritérium. Neexistuje žádný objektivní způsob určení tohoto terminačního kritéria. Jedním z terminačních kritérií se týká relativně jednoduchého vyšetření měr podobnosti mezi shluky v každém kroku, když totiž míra podobnosti překročí předem definovanou velikost, následné hodnoty skokově skočí.



Obr. 39 Dendrogram podobnosti znaků pro 97 parametrů



Obr. 40 Dendrogram podobnosti znaků pro 9 parametrů

Dendrogram podobnosti názorně ukazuje rozlišení znaků ve shlucích. Interpretace je poměrně snadná. Znaky či proměnné, které jsou propojeny spojovací úsečkou hodně nízko, mají malou vzdálenost a značnou vzájemnou podobnost. Znaky, které jsou propojené hodně vysoko, mají malou podobnost a mezi sebou velkou vzdálenost.

ZÁVĚR

V závěru této diplomové práce bych zhodnotila vliv jednotlivých parametrů na kvalitu pšeničného těsta.

Byl stanovován obsah vlhkosti a škrobu u vybraných vzorků mouk, které poskytla společnost Penam, a. s.

Vlhkost je velmi důležitý parametr při hodnocení kvality mouky. Obsah vlhkosti dělí mouky do několika skupin, od suchých až po mokré (vlhkost cca 17 % a více). Povolný obsah u mouk by měl být kolem 11 - 15 %. Obsah vlhkosti, stanovovaný referenční metodou, se pohyboval v průměru mezi 15,6 - 16,1 %. Z tohoto vyplývá, že se jednalo o mouky, které povolený limit překročily, což může mít negativní vliv na kvalitu pšeničného těsta.

Škrob byl stanovován prostřednictvím polarimetrické metody dle Ewarse. Množství škrobu v moukách by se měl pohybovat v rozmezí 56 - 68 %. Podle provedeného měření se obsah škrobu pohyboval v průměru kolem 68 - 69 % a bylo zjištěno, že druh mouky má vliv na obsah škrobu.

Statistické vyhodnocení parametrů zahrnovalo několik důležitých analýz. Krabicové grafy prokázaly, že většina vzorků bylo v rámci hranice mezních hodnot. Vzorky, jejichž hodnoty mezní hranici překročily, byly označeny za odlehlé či extrémní objekty a v případě nutnosti byly z analýzy odstraněny.

Statisticky významné korelace byly stanoveny na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ %. Nejvýznamnější je pozitivní korelace mezi tažností těsta (**L**) a indexem nafouknutí (**G**). Jsou to parametry ovlivněné pevností lepkových bílkovin.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Kadlec, P., a kol. *Technologie sacharidů*. 1. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická, 2000. 138 s. ISBN 80-7080-400-9.
- [2] Příhoda, J., Skřivan, P., Hrušková, M. *Cereální chemie a technologie I: cereální chemie, mlýnská technologie, technologie výroby těstovin*. 1. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2004. 203 s. ISBN 80-7080-530-7.
- [3] Řehoř, J., a kol. *Organická chemie*. 2. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1973. 645 s. ISBN 07-021-73-03/6.
- [4] Šícho, V. *Potravinářská biochemie*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1969. 360 s. ISBN 04-801-69.
- [5] *Wikipedie* [online]. 2011 [cit. 2011-03-05]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Lilek_brambor>.
- [6] *Agroweb* [online]. 2001. 2001 [cit. 2011-03-05]. Pěstování pšenice pro produkci škrobu. Dostupné z WWW: <http://www.agroweb.cz/rostlinna-vyroba/Pestovani-pšenice-pro-produkci-skrobu__s44x10368.html>.
- [7] *Květena ČR* [online]. 2003 [cit. 2011-03-16]. Lilek brambor. Dostupné z WWW: <<http://www.kvetenacr.cz/detail.asp?IDdetail=457>>.
- [8] Rovenská, B. *Anatomický atlas bramboru*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1977. 100 s. ISBN 21-073-77.
- [9] Hruška, L., et al. *Brambory*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1974. 416 s. ISBN 07-019-74.
- [10] *Polní plodiny - Field crops* [online]. 2006 [cit. 2011-03-16]. Brambory . Dostupné z WWW: <<http://vfu-www.vfu.cz/vegetabilie/plodiny/czech/brambory.htm>>.
- [11] Vokál, B., Čepl, J., Hausvater, E., Rasocha V. *Pěstujeme brambory*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing a.s., 2003. 104 s. ISBN 80-247-0567-2.
- [12] Rybáček, V., a kol. *Brambory*. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1988. 360 s. ISBN 07-134-88.

- [13] Vokál, B., a kol. *Konzumní brambory na poli, zahradě a v kuchyni*. Havlíčkův Brod: Výzkumný ústav bramborářský Havlíčkův Brod, s. r. o., 2009. 206 s. ISBN 978-80-86940-23-6.
- [14] Hrabě, J., Komár, A. *Technologie, zbožíznařství a hygiena potravin*, III. část – Technologie, zbožíznařství a hygiena potravin rostlinného původu, 1. vyd. Vyškov: 2003. 168 s. ISBN 80-7231-107-7.
- [15] Hrabě J., Rop O., Hoza I. *Technologie výroby potravin rostlinného původu*. 1. vyd. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2006. 178 s. ISBN 80-7318-372-2.
- [16] ZF JU [online]. 2000 [cit. 2011-03-05]. Pšenice Obecná. Dostupné z WWW: <<http://www.zf.jcu.cz/>>.
- [17] Šašková, D., Štolfa, V. *Trávy a obilí*. 1. vyd. Praha: Artia a.s., 1993. 64 s. ISBN 80-85805-03-0.
- [18] Agrokrom [online]. [cit. 2011-04-01]. Botanická charakteristika kukuřice. Dostupné z WWW: <http://www.agrokrom.cz/texty/metodiky/Picninarstvi/kukurice/Botanicka_charakteristika_kukurice.pdf>.
- [19] Haraqsim, O. *Včelařské byliny*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2007. 108 s. ISBN 978-80-247-2157-6.
- [20] *Encyklopedie Navajo* [online]. 2010 [cit. 2011-03-15]. Pšenice. Dostupné z WWW: <<http://navajo.cz/>>.
- [21] *Skripta ČZU* [online]. [cit. 2011-04-01]. Jednoleté a další píceřiny. Dostupné z WWW: <http://www3.czu.cz/php/skripta/kapitola.php?titul_key=4&idkapitola=233#top>.
- [22] Lekeš, J., a kol. *Žito*. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1990. 248 s. ISBN 80-209-0159-0.
- [23] *Ústav výživy zvířat a pícninářství* [online]. 2006 [cit. 2011-03-11]. Žito seté. Dostupné z WWW: <http://web2.mendelu.cz/af_222_multitext/picniny/sklady.php?odkaz=zito.html>.

- [24] Sobotka, M., Jelínková-Paroulková, D. *Atlas obilnin československých povolených a rayonovaných odrůd*. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1958. 279 s.
- [25] SZPI [online]. 2006 [cit. 2011-04-02]. Celiakie, bezlepková dieta. Dostupné z WWW:
<<http://www.szpi.gov.cz/docDetail.aspx?docid=1000147&nid=11325&chnum=2>>.
- [26] Biom [online]. 2004 [cit. 2011-03-14]. Využívání obnovitelných surovin v ČR. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuzivani-obnovitelnych-surovin-v-ceske-republice>>.
- [27] Richter, R., Ryant, P. *Web2.mendelu* [online]. [cit. 2011-03-22].
Výživa a hnojení obilnin. Dostupné z WWW:
<http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/hnojeni_plodin/pdf/vyziva%20obilnin.pdf>
- [28] *Faostat* [online]. 2011 [cit. 2011-04-01]. Food and agriculture organization of the United Nation.
Dostupné z WWW:
<<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>>.
- [29] Liyana-Pathirana, Ch. M. – Shahidi F. *Antioxidant properties of commercial soft and hard winter wheats (*Triticum aestivum* L.) and their milling fractions*. Journal of the Science of food and Agriculture, 86, 2006. p. 477-485.
- [30] Skylas, D. J., Van Dyk, D., Wrigley, C. W. *Proteomics of wheat grain*. Journal of Cereal Science, 41, 2005. p. 165 – 179.
- [31] Kučerová, J. *Technologie cereálií*. 1. vyd. Brno: MZLU, 2004. 141 s. ISBN 80-7157-811-8.
- [32] Velíšek, J. *Chemie potravin 1*. 2.vyd. Tábor: Osis, 2002. 344 s. ISBN 80-86659-00-3.

- [33] Sluková, M. Kvalitativní ukazatele pšenice a pšeničných mouk. In *Cereální chemie a technologie* [online]. Praha : Ústav chemie a technologie sacharidů, [cit. 2011-03-23].
Dostupné z WWW:
<http://www.vscht.cz/main/soucasti/fakulty/fpbt/grant_TRP/dokumenty/06.pdf >
- [34] Vorážka, Z. *Biochemie*. 2. vyd. Praha: Akademie věd České republiky, 2002. 506 s. ISBN 80-200-0600-1.
- [35] Příhoda, J., Humplíková, P., Novotná, D. *Základy pekárenské technologie*. Praha: Pekař a cukrář s. r. o., 2003. 363 s. ISBN 80-902922-1-6.
- [36] VŠCHT [online]. [cit. 2011-04-05]. Reologie fermentovaného pšeničného těsta - teorie . Dostupné z WWW: <<http://www.vscht.cz/sch/www321/13T.html>>.
- [37] ZBPP [online]. 2011 [cit. 2011-04-05]. Fermentograf laser. Dostupné z WWW: <<http://sadmikiewicz.pl/en/contents/content/301/224>>.
- [38] Juříková, K. *Pekárenské vlastnosti pšeničné a žitné mouky* [bakalářská práce]. Zlín: UTB – fakulta technologická, 2008. 46 s.
- [39] Hampl, J., a kol. *Jakost pekárenských a cukrárenských výrobků*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1981. 232 s. ISBN 04-818-81.
- [40] Hampl, J. *Cereální chemie a technologie I. Skladování obilí a mlynářství*. Praha: VŠCHT, 1988. 241 s.
- [41] Bílková, H. *Vliv aditivních látek na reologické vlastnosti pšeničných těst* [diplomová práce]. Zlín: UTB – fakulta technologická, 2009. 94 s.
- [42] Borutová, A. *Vliv definovaných aminokyselin na vlastnosti pšeničného těsta* [diplomová práce]. Zlín: UTB – fakulta technologická, 2008. 68 s.
- [43] Meloun, M., Militký, J. *Kompendium statistického zpracování dat: Metody a řešené úlohy*. 2. přeprac. a rozš. Vyd. Praha: Academia, 2006. 984 s. ISBN 80-200-1396-2.
- [44] Meloun, M., Militký, J., Hill, M. *Počítačová analýza vícerozměrných dat v příkladech*. 1. vyd. Praha: Academia, 2005. 456 s. ISBN 80-200-1335-0.

- [45] Meloun, M., Militký J. *Statistická analýza experimentálních dat*. 1. vyd. Praha: Academia, 2004. 954 s. ISBN 80-200-1254-0.
- [46] ČR. Obiloviny a výrobky z obilovin- Stanovení vlhkosti- Referenční metoda. In *ČSN EN ISO 712 (46 1014)*. 2010, 10 s.
- [47] Nařízení komise (ES) č. 152/2009 ze dne 27. Ledna 2009, kterým se stanoví metody odběrů vzorků a laboratorního zkoušení pro úřední kontrolu krmiv.
- [48] *QC-Expert* [statistický program]. 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>.
- [49] *STATISTICA CZ* [statistický program, CD-ROM]. Ver. 9.1. Tulsa (USA): Statsoft, Inc.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

a.s.	akciová společnost
hm. %	hmotnostní procento
vit.	vitamin
ZnSO ₄	síran zinečnatý
K ₄ [Fe (CN) ₆]	hexakynoželeznatan draselný
K ₂ SO ₄	síran draselný
Zn ₂ [Fe (CN) ₆]	hexakynoželeznatan zinečnatý
HCl	kyselina chlorovodíková
P	pevnost těsta (lepku) nebo maximální tlak, který vyjadřuje odolnost těsta proti deformaci
L	tažnost těsta (lepku) až k okamžiku protržení – délka křivky
G	index nafouknutí
W	energie – pekařská síla mouky, práce nezbytná k deformaci bubliny až k prasknutí
P/L	konfigurační poměr křivky
I _e	index elasticity, který vyjadřuje odpor těsta
W (0)	vyjádření energie při dané délce

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1</i> Znázornění glykosidických vazeb	15
<i>Obr. 2</i> Škrobová zrna	17
<i>Obr. 3</i> Změny škrobových zrn při zmazovatění	18
<i>Obr. 4</i> Vzorec lyzinu	23
<i>Obr. 5</i> Vzorec tryptofanu	24
<i>Obr. 6</i> Schéma výroby bramborového škrobu	27
<i>Obr. 7</i> Výroba pšeničného škrobu (Martiniův způsob).....	29
<i>Obr. 8</i> Šlichtovací stroj.....	33
<i>Obr. 9</i> Pšenice setá (<i>Triticum aestivum</i>)	35
<i>Obr. 10</i> Podélný řez pšeničným zrnem	38
<i>Obr. 11</i> Obsahy hlavních typů sacharidů	40
<i>Obr. 12</i> Obsah aminokyselin	42
<i>Obr. 13</i> Vzorec thiaminu	44
<i>Obr. 14</i> Vzorec riboflavinu	45
<i>Obr. 15</i> Fermentograf	46
<i>Obr. 16</i> Farinograf	51
<i>Obr. 17</i> Krabicový graf standardizovaných dat (parametr G).....	70
<i>Obr. 18</i> Krabicový graf standardizovaných dat (parametr I_e).....	70
<i>Obr. 19</i> Krabicový graf standardizovaných dat (parametr L)	71
<i>Obr. 20</i> Krabicový graf standardizovaných dat (parametr N-I).....	72
<i>Obr. 21</i> Krabicový graf standardizovaných dat (parametr P)	72
<i>Obr. 22</i> Krabicový graf standardizovaných dat (parametr P/L).....	73
<i>Obr. 23</i> Krabicový graf standardizovaných dat (parametr škrob).....	73
<i>Obr. 24</i> Krabicový graf standardizovaných dat (parametr vlhkost).....	74
<i>Obr. 25</i> Krabicový graf standardizovaných dat (parametr W)	75
<i>Obr. 26</i> Maticový graf korelace znaků	78
<i>Obr. 27</i> Ikonový graf – Chemoffovy tváře (polygony).....	79
<i>Obr. 28</i> Cattelův indexový graf úpatí vlastních čísel	80
<i>Obr. 29</i> Graf komponentních zátěží PC1 a PC2.....	82
<i>Obr. 30</i> Graf komponentních zátěží PC1 a PC3.....	82
<i>Obr. 31</i> Graf komponentních zátěží PC2 a PC3.....	83

<i>Obr. 32 Cattelův indexový graf úpatí vlastních čísel</i>	84
<i>Obr. 33 Graf komponentních zátěží PC1 a PC2.....</i>	87
<i>Obr. 34 Graf komponentních zátěží PC1 a PC3.....</i>	87
<i>Obr. 35 Graf komponentních zátěží PC2 a PC3.....</i>	88
<i>Obr. 36 Rozptylový diagram komponentního skóre PC1 a PC2</i>	89
<i>Obr. 37 Rozptylový diagram komponentního skóre PC1 a PC3</i>	90
<i>Obr. 38 Rozptylový diagram komponentního skóre PC1 a PC3</i>	90
<i>Obr. 39 Dendrogram podobnosti znaků pro 97 parametrů.....</i>	92
<i>Obr. 40 Dendrogram podobnosti znaků pro 9 parametrů.....</i>	93

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Teploty mazování vybraných škrobů</i>	19
<i>Tab. 2 Obsah jednotlivých složek v obilovinách (v hm. % při 15 % vlhkosti obilí)</i>	21
<i>Tab. 3 Přehled odrůd vhodných pro produkci škrobu</i>	22
<i>Tab. 4 Průměrné nutriční složení bramborové hlízy</i>	26
<i>Tab. 5 Světový výnos pšenice v roce 2009</i>	36
<i>Tab. 6 Světová produkce pšenice v roce 2009</i>	37
<i>Tab. 7 Maximální rozmezí hmotnostních podílů částí zrna pšenice</i>	39
<i>Tab. 8 Parametry jednotlivých druhů mouk</i>	63
<i>Tab. 9 Charakteristika velikosti částic produktů (bez mletí)</i>	64
<i>Tab. 10 Popisné statistiky</i>	76
<i>Tab. 11 Korelační matice znaků</i>	76
<i>Tab. 12 Vlastní čísla</i>	80
<i>Tab. 13 Vlastní čísla</i>	84
<i>Tab. 14 Vlastní vektory</i>	85
<i>Tab. 15 Komponentní zátěže</i>	86

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 1 Stanovení obsahu vlhkosti

PŘÍLOHA 2 Stanovení obsahu škrobu

PŘÍLOHA P I: STANOVENÍ OBSAHU VLHKOSTI

Číslo vzorku	Vlhkost (%)	Směr. odchylka	Číslo vzorku	Vlhkost (%)	Směr. odchylka
68	15,70	0,12	90	15,60	0,12
69	15,50	0,08	91	15,70	0,07
70	15,60	0,11	92	15,30	0,09
71	15,70	0,15	93	16,10	0,10
72	15,20	0,04	94	15,70	0,11
73	15,40	0,11	95	16,30	0,15
74	15,50	0,15	96	16,10	0,12
75	15,10	0,02	97	16,10	0,10
76	15,30	0,11	98	15,80	0,13
77	15,20	0,02	99	16,00	0,08
78	15,00	0,13	100	16,00	0,07
79	15,10	0,21	101	15,90	0,04
80	15,40	0,18	102	15,90	0,05
81	15,20	0,01	103	16,40	0,12
82	16,00	0,09	104	16,30	0,09
83	15,60	0,11	105	15,70	0,17
84	15,90	0,10	106	15,80	0,11
85	15,60	0,03	107	15,60	0,10
86	15,40	0,03	108	15,50	0,03
87	16,30	0,01	109	16,20	0,08
88	14,90	0,12	110	15,70	0,04
89	15,60	0,03	111	15,50	0,03

Číslo vzorku	Vlhkost (%)	Směr. odchylka	Číslo vzorku	Vlhkost (%)	Směr. odchylka
112	15,60	0,12	124	16,00	0,12
113	16,00	0,08	125	15,80	0,10
114	16,00	0,07	126	15,30	0,14
115	15,30	0,14	127	15,70	0,07
116	15,40	0,08	128	15,70	0,09
117	15,60	0,07	129	15,90	0,04
118	15,50	0,09	130	16,00	0,08
119	15,90	0,09	131	15,90	0,04
120	15,40	0,027	132	16,10	0,11
121	15,70	0,01	133	15,90	0,14
122	15,60	0,14	134	15,90	0,08
123	15,70	0,11			

PŘÍLOHA P II: STANOVENÍ OBSAHU ŠKROBU

Číslo vzorku	Průměr (%)	Směr. odchylka	Číslo vzorku	Průměr (%)	Směr. odchylka
68	56,23	1,03	90	68,05	0,31
69	66,04	0,63	91	65,32	0,31
70	60,39	0,32	92	60,39	0,31
71	67,68	0,31	93	68,96	1,90
72	67,86	0,03	94	65,53	0,82
73	72,43	0,31	95	70,97	0,31
74	67,68	0,31	96	66,77	0,95
75	68,01	0,27	97	64,95	1,14
76	68,41	1,45	98	69,15	2,07
77	61,30	0,01	99	71,70	0,94
78	63,49	0,02	100	67,05	0,31
79	65,13	0,55	101	71,02	0,27
80	64,76	0,31	102	70,79	0,32
81	67,59	2,39	103	71,29	0,28
82	64,76	0,31	104	72,90	0,45
83	63,40	1,11	105	66,44	0,74
84	65,68	0,45	106	70,41	0,31
85	62,53	0,27	107	69,95	2,61
86	66,59	1,38	108	68,96	0,67
87	65,50	1,13	109	68,05	0,31
88	69,15	0,31	110	68,14	0,32
89	65,68	1,90	111	71,15	0,39

Číslo vzorku	Průměr (%)	Směr. odchylka	Číslo vzorku	Průměr (%)	Směr. odchylka
112	69,15	0,32	124	67,32	0,39
113	72,52	0,31	125	69,10	0,27
114	69,92	0,52	126	71,15	1,77
115	71,96	0,28	127	66,91	0,28
116	70,79	0,31	128	71,43	0,31
117	69,14	0,32	129	71,41	0,75
118	71,49	0,30	130	66,42	1,27
119	67,10	0,30	131	68,01	0,27
120	73,52	0,32	132	70,88	0,31
121	71,16	0,45	133	67,69	0,32
122	68,85	0,60	134	70,24	0,31
123	67,1	0,29			