

Vliv obsahu škrobu na základní technologické ukazatele kvality pšeničné mouky

Bc. Zuzana Janíková

Diplomová práce
2011

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav biochemie a analýzy potravin

akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Zuzana JANÍKOVÁ**
Osobní číslo: **T09540**
Studijní program: **N 2901 Chemie a technologie potravin**
Studijní obor: **Technologie, hygiena a ekonomika výroby potravin**

Téma práce: **Vliv obsahu škrobu na základní technologické ukazatele kvality pšeničné mouky**

Zásady pro vypracování:

I. Teoretická část

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

II. Praktická část

1. Ve vzorcích pšeničné mouky se známými parametry stanovit obsah škrobu a dusíkatých látek.
2. Vyhodnotit výsledky a zjistit případné korelace se známými parametry.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] VELÍŠEK J., *Chemie potravin I. Tábor, OSSIS 2002.*

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

[3] PŘÍHODA J., SKŘIVAN P., HRUŠKOVÁ M., *Cereální chemie a technologie I (Cereální chemie, mlýnská technologie, technologie výroby těstovin). Praha, VŠCHT 2003.*

[4] KUČEROVÁ J., *Technologie cereálií. Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita 2008.*

Vedoucí diplomové práce:

Mgr. Monika Černá, Ph.D.

Ústav technologie a mikrobiologie potravin

Datum zadání diplomové práce:

25. února 2011

Termín odevzdání diplomové práce:

20. května 2011

Ve Zlíně dne 21. března 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Fišera, CSc.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno:

Obor:

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby 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

.....

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). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

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

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá vlivem obsahu škrobu na základní technologické ukazatele kvality pšeničné mouky. Teoretická část je věnována charakteristice škrobu, vlastnostem a hodnocení technologické kvality pšeničné mouky, s tím spojené požadavky na kvalitu pšeničné mouky a v neposlední řadě stručně pojednává o vícerozměrných statistických metodách.

Praktická část je zaměřena na stanovení vlhkosti, obsahu popele, dusíkatých látek, škrobu a na statistické vyhodnocení těchto parametrů. Vlhkost u vzorků průměrnou hodnotou 13,1 % splňovala požadavky normy, taktéž průměrná hodnota obsahu škrobu 70,0 % splňovala dané požadavky. Obsah dusíkatých látek průměrnou hodnotou 13,3 % však požadavek normy nesplňovala. Bylo také potvrzeno, že druh mouky ovlivňuje obsah škrobu.

Nejvyšší pozitivní korelace byla prokázána mezi parametry lepkem a dusíkatými látkami. Jsou to parametry, které spolu úzce souvisejí, protože lepek je směs bílkovin (dusíkatých látek).

Klíčová slova: škrob, amyulóza, amylopektin, pšeničná mouka, kvalita, parametry

ABSTRACT

This thesis deals with the influence of starch on the basic indicators of technological quality of wheat flour. The theoretical part is devoted to the characteristics of starch properties and evaluation of technological quality of wheat flour, with the associated demands on the quality of wheat flour and finally concentrated on the multivariate statistical methods.

The practical part is focused on the determination of moisture, ash, crude protein, starch, and the statistical evaluation of these parameters. Moisture in the sample average of 13.1% meet the requirements of the standard; also the average starch content 70.0% met the requirements. The content of crude protein average of 13.3% but did not meet the standard requirement. It was also confirmed that the type of flour affect starch content.

The highest positive correlation was established between the parameters of gluten and nitrogen compounds. These are the parameters that are closely related, because gluten is a mixture of protein (crude protein).

Keywords: starch, amylose, amylopectin, wheat flour, quality, parameters

Ráda bych poděkovala vedoucí diplomové práce paní Mgr. Monice Černé, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady, které mi v průběhu vypracování práce poskytla. Poděkování patří i společnosti Penam, a. s. za poskytnutí vzorků.

Můj vřelý dík patří také mé rodině za podporu při mém studiu a sepisování této práce.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 CHARAKTERISTIKA ŠKROBU	12
1.1 MORFOLOGICKÉ VLASTNOSTI ŠKROBU	12
1.2 FYZIKÁLNĚ-CHEMICKÉ VLASTNOSTI ŠKROBU	13
1.2.1 Amylóza	14
1.2.2 Amylopektin	16
1.2.3 Odbourávání škrobu.....	17
1.2.4 Želatinace (mazovatění) a retrogradace	18
1.3 VÝROBA PŠENIČNÉHO ŠKROBU	19
1.3.1 Martinův způsob.....	20
1.3.2 Vysokotlaký desintegrační proces	21
1.3.3 Alkalický způsob	22
1.4 VYUŽITÍ ŠKROBU.....	22
2 VLASTNOSTI PŠENIČNÉ MOUKY	25
2.1 OBILNÉ ZRNO.....	25
2.2 CHEMICKÉ SLOŽENÍ MOUKY	27
2.2.1 Bílkoviny	28
2.2.2 Tuky.....	29
2.2.3 Sacharidy.....	29
2.2.4 Minerální látky.....	30
2.2.5 Vitaminy.....	31
3 HODNOCENÍ TECHNOLOGICKÉ KVALITY PŠENIČNÉ MOUKY	32
3.1 OBJEMOVÁ VÝTĚŽNOST.....	32
3.2 OBSAH DUSÍKATÝCH LÁTEK.....	32
3.3 SEDIMENTAČNÍ TEST	34
3.4 ČÍSLO POKLESU	35
3.5 OBJEMOVÁ HMOTNOST.....	37
3.6 VAZNOST.....	37
3.7 VLHKOST	37
3.8 OBSAH LEPKU	37
3.9 OBSAH POPELE.....	38
3.10 STANOVENÍ HRUBÝCH NEČISTOT.....	39
3.11 STANOVENÍ NEČISTOT A PŘÍMĚSI	39
4 POŽADAVKY NA KVALITU PŠENIČNÉ MOUKY	40

4.1	POŽADAVKY NA PŠENIČNOU MOUKU PRO PEČIVÁRENSKÉ ÚČELY	41
4.1.1	Základní kritéria hodnocení jakosti pšenice pro pečivářské využití	42
4.2	POŽADAVKY NA PŠENIČNOU MOUKU PRO TĚSTÁRENSKÉ ÚČELY	43
5	VÍCEROZMĚRNÉ STATISTICKÉ METODY	44
5.1	STANDARDIZACE VÍCEROZMĚRNÝCH DAT	45
5.1.1	Škálovací techniky	45
5.2	EXPLORATORNÍ ANALÝZA DAT	46
5.2.1	Popisné charakteristiky vícerozměrných dat	46
5.2.2	Grafické zobrazení vícerozměrných dat	46
5.3	ANALÝZA HLAVNÍCH KOMPONENT	47
5.4	FAKTOROVÁ ANALÝZA	49
5.5	SHLUKOVÁ ANALÝZA	50
5.6	VÍCEROZMĚRNÉ ŠKÁLOVÁNÍ	50
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	51
6	METODIKA PRÁCE	52
6.1	CHARAKTERISTIKA ANALYZOVANÝCH VZORKŮ	52
6.2	CHEMICKÁ ANALÝZA	52
6.2.1	Příprava analytického vzorku	52
6.2.2	Stanovení obsahu vlhkosti.....	52
6.2.3	Stanovení obsahu popele.....	54
6.2.4	Stanovení dusíkatých látek.....	55
6.2.5	Stanovení škrobu	56
6.3	STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ DAT.....	59
7	VÝSLEDKY A DISKUZE	60
7.1	CHEMICKÁ ANALÝZA	60
7.1.1	Stanovení vlhkosti.....	60
7.1.2	Stanovení obsahu popele.....	60
7.1.3	Stanovení obsahu dusíkatých látek	60
7.1.4	Stanovení obsahu škrobu	61
7.2	STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ DAT.....	62
7.2.1	Krabicové grafy	62
7.2.2	Základní popisné statistiky	67
7.2.3	Grafické zobrazení vícerozměrných dat	69
7.2.4	Analýza hlavních komponent.....	70
7.2.4.1	Redukce znaků	70
7.2.4.2	Hledání vazeb a struktury ve znacích a objektech	74
7.2.5	Shluková analýza	81
	ZÁVĚR.....	83
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	84
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	90

SEZNAM OBRÁZKŮ	92
SEZNAM TABULEK	94
SEZNAM PŘÍLOH	95

ÚVOD

Škrob je vysokomolekulární polymer D-glukózy, v němž jsou monomerní jednotky spojeny α -1,4 glykozidovými vazbami (lineární řetězce) a větvení je zajištěno α -1,6 glykozidovými vazbami. Hlavními složkami škrobu jsou bohatě větvený amylopektin a lineární amyulóza. Škrob vzniká jako hlavní metabolický produkt v chloroplastech listů zelených rostlin; poté bývá degradován na rozpustné sacharidy, z nichž je v jiných částech rostlin (hlízy, oddenky, plody atd.) syntetizován zásobní škrob, který se ukládá v podobě škrobových zrn ve zvláštních organelách, amyloplastech. Škrob je významná surovina uplatňující se zejména v potravinářském, textilním a papírenském průmyslu.

Obilky jsou semeny obilovin a jejich přirozená funkce po vyžrání spočívá v roli uchování životaschopnosti zárodku nové rostliny. Mezi hlavní anatomické části obilek patří endosperm, klíček a obalové vrstvy. Základními stavebními složkami obilných zrn jsou hlavně sacharidy a bílkoviny. V malém množství pak lipidy, minerální látky a ve velmi malém množství vitaminy.

Pšenice potravinářská se podle užití rozděluje na pšenici pekárenskou a pšenici pečivářskou, které musí splňovat určité hodnoty jakostních ukazatelů stanovené v normách ČSN 46 1100-2 a ČSN 46 1100-1.

Parametry pšenice, mouky a následně těsta mají vliv nejen na kvalitu finálních produktů – kynutým pečivem počínaje, přes těstoviny až po sušenky – ale také na efektivitu výroby.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 CHARAKTERISTIKA ŠKROBU

Škrob patří mezi fyziologicky a hospodářsky nejdůležitější polysacharidy. Vzniká jako metabolický produkt v chloroplastech listů zelených rostlin, kde je degradován na rozpustné sacharidy. Z nich je poté v zásobních orgánech rostlin (hlízy, oddenky, plody atd.) syntetizován škrob, který se ukládá v podobě škrobových zrn ve zvláštních organelách, amyloplastech [1].

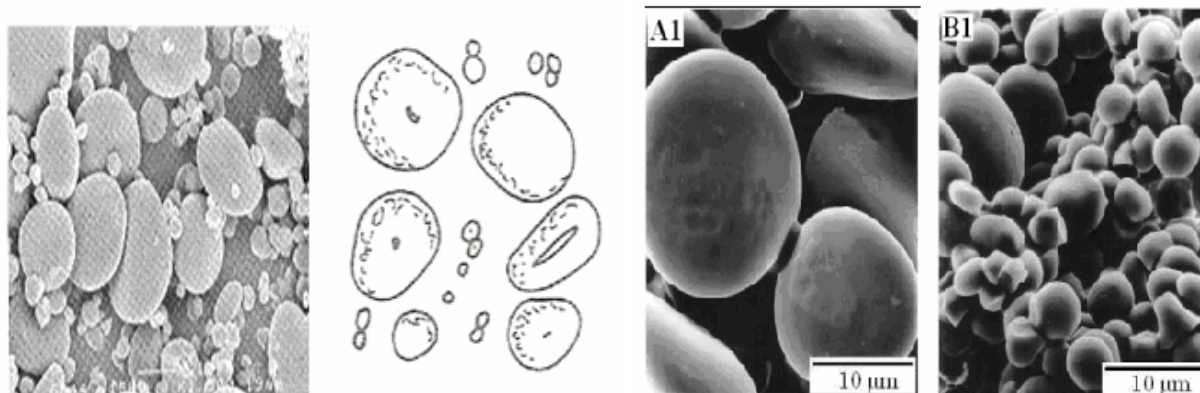
Průmyslově se škrob získává hlavně z obilovin (pšenice, kukuřice) a brambor. Takto získaný škrob se v přirozené formě, ale hlavně ve formě různých derivátů a modifikovaných škrobů používá v různých potravinářských oborech a různých odvětvích našeho národního hospodářství [2]. Svými žádoucími funkčními vlastnostmi hrají důležitou roli při zlepšování kvality různých potravinářských výrobků. Škrob má mnoho průmyslových aplikací jako zahušřovadlo, koloidní stabilizátor, želatinové činidlo, plnidlo a lepidlo [3].

Škrob není sám o sobě chemickým individuem, neboť sestává ze dvou frakcí – amylozy (20 – 30 %) a amylopektinu (70 – 80 %) [3–4]. Poměrné zastoupení obou polysacharidů však může u škrobů z různých druhů rostlin značně kolísat [5].

1.1 Morfologické vlastnosti škrobu

Morfologické charakteristiky škrobů z různých rostlinných zdrojů se liší podle genotypu a kulturní praktik. Změna ve velikosti a tvaru škrobového zrna je přičítána biologickému původu. Morfologie škrobových zrn závisí na biochemii chloroplastů nebo amyloplastů, stejně jako na fyziologii rostlin [3].

Škrob je obsažen v zrnech obilovin v endospermu. Jeho obsah tvoří přibližně 60 – 75 % sušiny obilok a kolísá v uvedeném rozmezí podle druhů a odrůd. Jeho obsah v mouce, která je tvořena převážně endospermem, je vyšší a to cca 75 – 80 % sušiny [4]. Pšeničný endosperm obsahuje dva druhy škrobových zrn (Obr. 1): velký A–typ (čočkovitý tvar, průměr 10 – 35 μm, obsah amylozy 28,4 – 27,8 %) a malý B–typ (kulatý tvar, průměr 1 – 10 μm, obsah amylozy 27,5 – 24,5 %) [3].



a)

b)

c)

d)

Obr. 1 Škrobová zrna pšeničného škrobu a) a b) [6–7], fotografie skenového elektronového mikroskopu nativního škrobu podle Van Hunga a Mority c) A–typ, d) B–typ [8]

Přírodní pšeničný škrob je velmi jemný, sypký prášek, bez mechanických nečistot, neutrální vůně a chuti [2]. Je získán izolací ze škrobnatých surovin rostlinného původu [9].

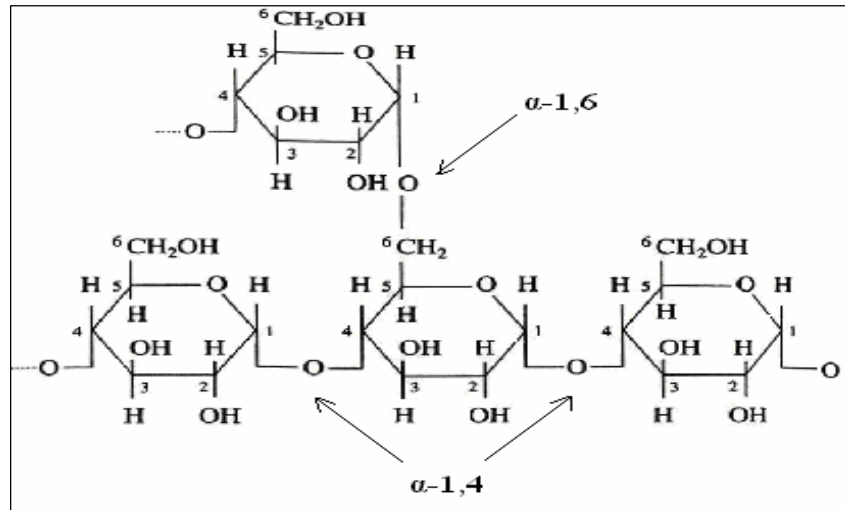
Požadavky na jakost pšeničného škrobu jsou uvedeny ve Vyhlášce 329/1997 (viz Tab. 1).

Tab. 1 Požadavky na jakost pšeničného škrobu [10]

Obsah sušiny (%)	Celkový obsah popela v sušině (%)	Obsah N-látek v sušině (%)	Reakce s jodem zbarvení
nejméně 86,0	nejvýše 0,4	nejvýše 0,55	modrofialové

1.2 Fyzikálně-chemické vlastnosti škrobu

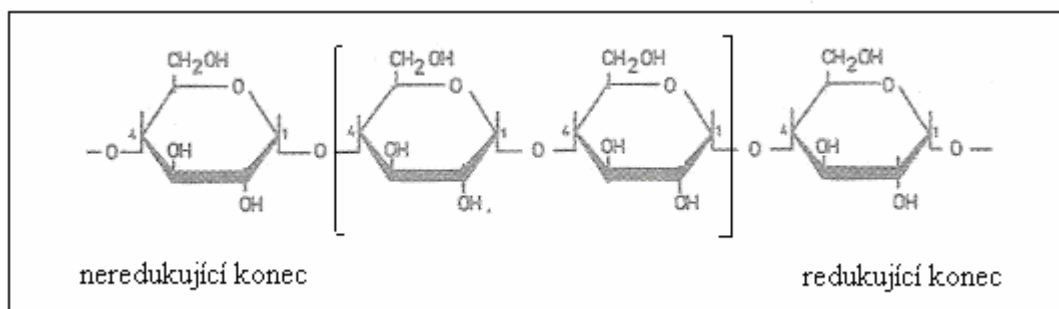
Škrobová zrna mají semikrystalickou strukturu, složenou z krystalické a amorfni oblasti [11]. Krystalická oblast je výlučně spojená s amylopektinem, zatímco amorfni oblast představuje především amyulóza [3]. Obě frakce škrobu (amyulóza a amylopektin) jsou tvořeny jednotkami glukózy, které jsou však v případě amyulózy spojeny α -1,4 glykozidickou vazbou, zatímco v molekulách amylopektinu se častěji vyskytují i vazby α -1,6 (Obr. 2) [12].



Obr. 2 Znárodnění glykozidických vazeb α -1,4 (amylóza – bez větvení) a α -1,6 (větvený amylopektin) [12]

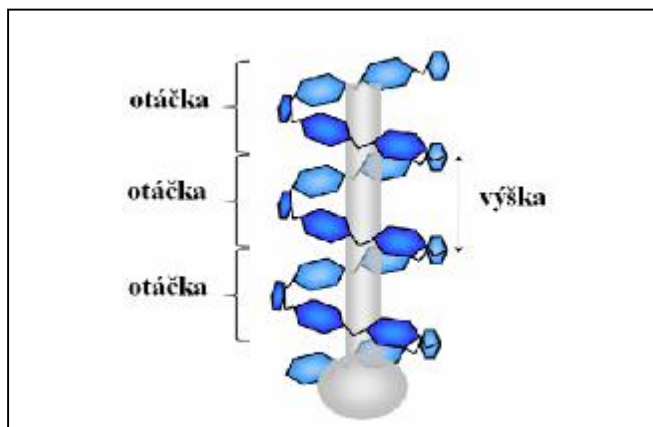
1.2.1 Amylóza

Amylóza (Obr. 3), která je rozpustná ve vodě za studena je lineární α -D-(1 \rightarrow 4)-glukan a je polymerem disacharidu maltózy. Jedná se o směs polymerů s různým stupněm polymerace obsahující 250 až 4 500 glukózových zbytků. Molekulová hmotnost amylózy se pohybuje v rozmezí 200 až 1 000 kDa a poskytuje s jodem intenzivní modré zbarvení [4, 13–16].



Obr. 3 Amylóza [13]

Molekula amylózy je díky převládajícím vazbám 1 (axiální) \rightarrow 4 (ekvatoriální) ve vodě a v neutrálních roztocích náhodně vinutá, místy s helikální strukturou a vytváří levotočivou šroubovici (Obr. 4) [13].



Obr. 4 Levotočivá šroubovice – amylóza [17]

Amylózová šroubovice je hydrofilní (vnější strana) a uvnitř dutiny hydrofobní – upřednostňuje vznik hydrofobní interakce. Amylózové komplexy mohou být rozděleny na dva oddělitelné typy: méně seřazený typ I a typ II – semikrystalický amyložo-mezivrstvový komplex. Typy I komplexy vznikají při teplotě 60 °C a vedou ke vzniku jednotlivých segmentů, které jsou náhodně orientované. Typy II komplexy, na druhé straně, jsou získané ohřátím směsi amyložy a ligandů při vyšších teplotách (nejméně 90 °C). Typ II komplexy mohou být dále rozdělené na typ IIa a typ IIb komplexy [17].

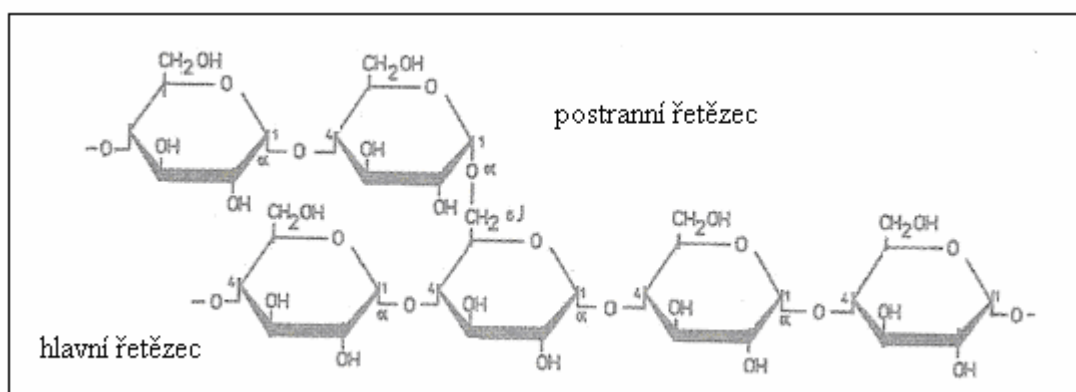
Obecně lze hydrolyzu amyložových komplexů považovat za dva procesy. První, rychlá hydrolyza amorfní oblasti a druhá pomalejší zahrnující degradaci amyložových komplexů. Hydrolyza komplexů je ovlivněna jak amyložovou, tak i lipidovou délkou řetězce. Odolnost vůči oběma enzymům (např. pankreatické α -amylázy) a kyselou hydrolyzou se zvyšuje s amyložovou a lipidovou délkou řetězce. Míra *in vitro* amyložové hydrolyzy závisí také na aktivitě enzymů [17].

Kyselou hydrolyzou se amyloža štěpí přes maltózu na D-glukózu. Působením amylytických enzymů amyláz se z amyložy neustále odštěpují maltózové jednotky. Molekulová hmotnost amyložy přitom klesá a vznikají nízkomolekulární dextriny. S klesající molekulovou hmotností dextrinu klesá i schopnost tvořit barevné komplexy s jodem [14].

Amyloža je pomaleji strávená a proto poskytuje příznivé účinky na lidské zdraví. Amyloža též zřejmě snižuje glykémie, inzulín a zvyšuje schopnost spalování tuků v těle [18].

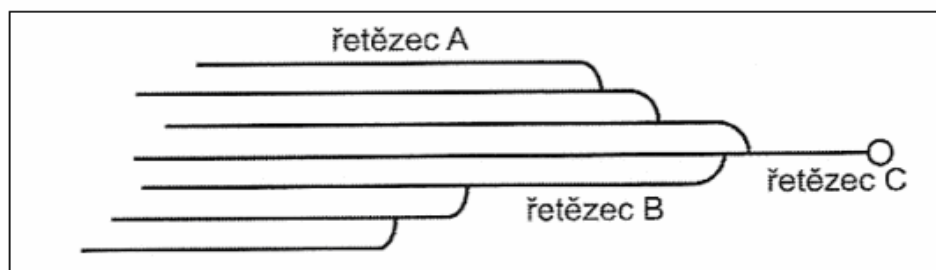
1.2.2 Amylopektin

Amylopektin je nerozpustný, v teplé vodě pouze bobtná (Obr. 5). Molekula amylopektinu se skládá z řetězců D-glukózových jednotek vázaných α -(1→4) vazbami (základní stavební jednotkou je maltóza), z nichž se po 10 – 100 jednotkách odvětvují vazbou α -(1→6) postranní řetězce (základní stavební jednotka je isomaltóza). Výjimečně se mohou vyskytnout také vazby α -(1→3), kde stavební jednotkou je laminaribióza. Amylopektin obsahuje také malé množství esterově vázané kyseliny fosforečné (0,17 %). Stupeň polymerace bývá až 1 000 000, molekulová hmotnost dosahuje až 200 MDa [13–14, 16].



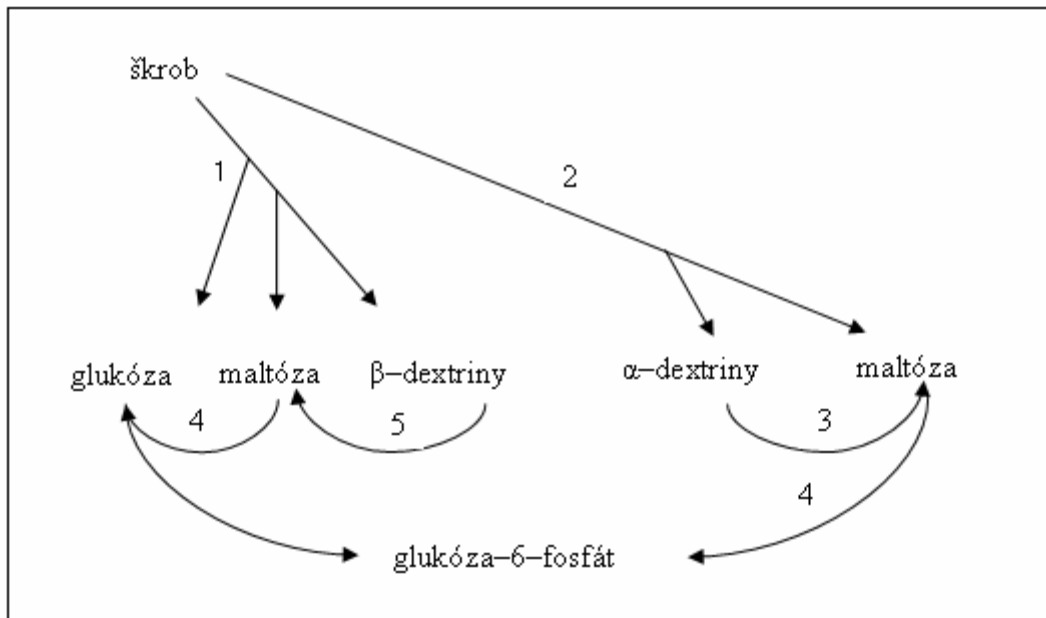
Obr. 5 Amylopektin [15]

Řetězce amylopektinu jsou členěny jako A–nerozvětvené, narozdíl od B–řetězců, na které jsou vazbou α -(1→6) navázány další A– nebo B–řetězce. Makromolekula také obsahuje C–řetězec nesoucí jedinou koncovou redukcující skupinu (Obr. 6) [1].



Obr. 6 Schématická struktura amylopektinu (čary naznačují řetězce molekul glukózy vázané vazbou α -D-(1→4), rozvětvení je vazbou α -D-(1→6) [1]

1.2.3 Odbourávání škrobu



Obr. 7 Odbourávání škrobu – enzymy: 1- α -amyláza, 2- β -amyláza, 3-amylo-1,6-glykozidáza, 4-maltáza, 5-amylo-1,6-glykozidáza [19]

α -amyláza je enzym ztekuřující a dextrinační, který způsobuje štěpení molekul amylozy i amylopektinu v libovolném místě. Amylopektin může odštěpovat jak z volných koncových řetězců, tak i dále ve větvené struktuře za vazbami α -1,6. Účinky různých α -amyláz jsou kvalitativně shodné, odlišují se kvantitativně. Nejprve nastává rychlé ztekucování škrobového mazu, a to účinkem hydrolyzy vazeb 1,4 uvnitř molekuly. Vytvářejí se dextriny, složené z osmi glukózových jednotek a výše, s větším obsahem vazeb 1,6, než v původním škrobu. Také se rychle mění barevná reakce s jodem až dožluta. α -amyláza působí i na celistvá, nezmazovatělá škrobová zrna. Její optimum je při pH 5,6 – 6,0, je termostabilní (teplotní optimum 70 – 75 °C) a inaktivace nastává při 85 – 95 °C [20–21].

β -amyláza působí z vnějšku makromolekul amylozy a amylopektinu. Způsobuje postupné odštěpování molekul maltózy od konce polymerních řetězců. β -amylázy má optimum při pH 4,3, tepelné optimum 62 °C a je téměř zcela inaktivována 15min zahřevem na 70 °C. Při hydrolyze amylopektinu β -amyláza není schopna překročit vazby α -1,6. Znamená to, že jej není schopna hydrolyzovat úplně a zbývá tzv. β - limitní dextrin, nehydrolyzovatelný enzym. Při velkém podílu amylopektinu v obilních škrobech tak zůstává významný podíl škrobu nehydrolyzován [20–21].

Pšeničné zrno může nabobtnat až 30 krát z původního objemu, aniž by se rozpadlo. Rozsah rozpustnosti závisí hlavně na obsahu lipidů ve škrobu a schopnosti škrobu tvořit amylozo-lipidový komplex. Amylozo-lipidový komplex je ve vodě nerozpustný a k oddělení vyžaduje vyšší teploty. Reakce škrobového mazu ve vodním prostředí závisí na fyzikálních a chemických vlastnostech škrobových zrn, jako jsou střední velikosti zrn, velikost granulí, amyloza/amylopektin poměru a obsahu minerálních látek [3].

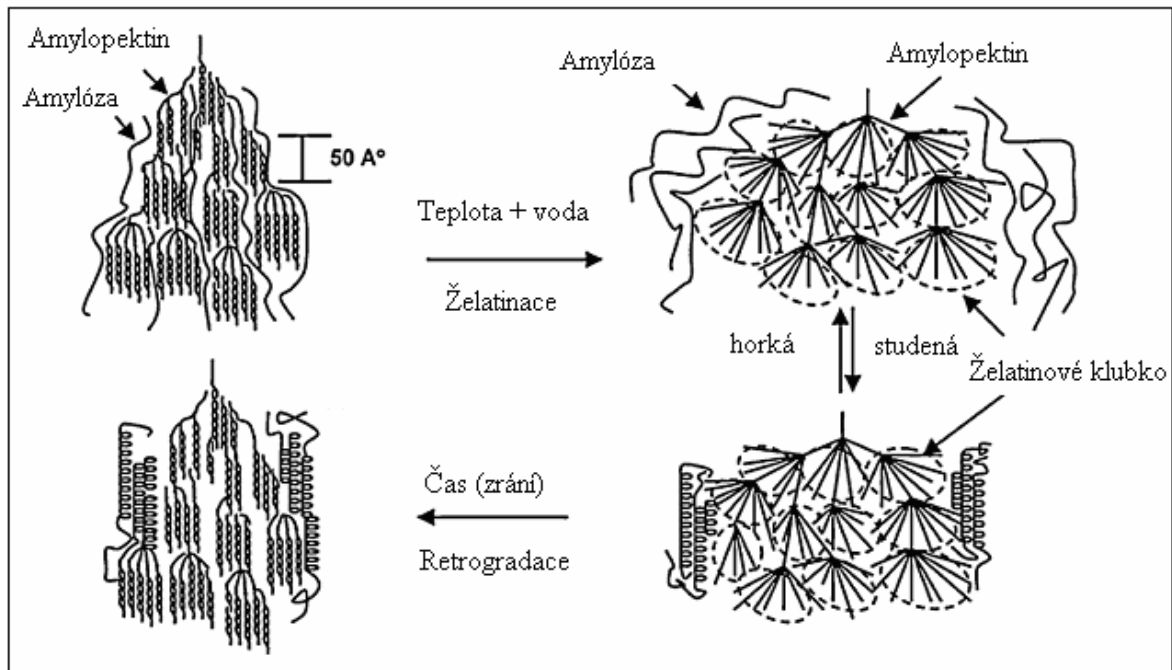
1.2.4 Želatinace (mazovatění) a retrogradace

Krystalické pořadí ve škrobových zrnech je často zásadní faktor, který ovlivňuje funkční vlastnosti. Pokles krystalického pořadí se v rámci škrobových granulí projevuje jako nezvratné změny ve vlastnostech, jako granulární bobtnání, mazovatění, ztráta krystalického pořadí, despiralizace a disociace dvojité šroubovice a škrobová rozpustnost [3].

Želatinace se vyskytuje nejprve v amorfni oblasti, protože vodíková vazba je v těchto oblastech oslabena [3]. S růstem teploty dochází ke zvyšování obsahu vody ve škrobovém zrnech, zrno bobtná a při dalším zahřívání mazovatí – škrob přechází do hydratovaného stavu a vytváří škrobovou disperzi – maz. Teplota mazovatění a průběh závislosti konzistence škrobové disperze na teplotě a času je charakteristický pro původ škrobu. Teplota mazovatění pšeničného škrobu je 58 – 64 °C [23].

Retrogradace je postupný přechod škrobové disperze do formy pevné fáze, která se projevuje tvorbou ve vodě nerozpustné sraženiny. Stabilita a specifické reologické vlastnosti jsou nejdůležitější fyzikální charakteristiky škrobových disperzí [23].

Vzniklé změny škrobu během želatinace a retrogradace jsou znázorněny na obr. 8.



Obr. 8 Schématické znázornění změn škrobu během želatinace a retrogradace [22]

1.3 Výroba pšeničného škrobu

Průměrné složení pšeničné mouky používané pro výrobu škrobu je následující: voda 14,0 %, škrob 68,4 %, nižší sacharidy 0,8 %, vláknina 1,2 %, bílkoviny 13,5 %, tuky 1,5 %, popel 0,6 % [23].

Výhody výroby pšeničného škrobu ve srovnání s bramborovým:

- pšeničná mouka obsahuje méně vody (pšenice: 14,0 %, brambory: 75,4 %), je tedy lépe skladovatelná a snižuje množství odpadní vody;
- možnost celoročního provozu (dobrá skladovatelnost);
- s výjimkou velkých tržních výkyvů je pšeničná mouka levnější, souběžně získaný vitální lepek velmi dobře prodejný.

Nevýhody:

- složitější technologie (nutnost oddělit lepek a B – škrob);

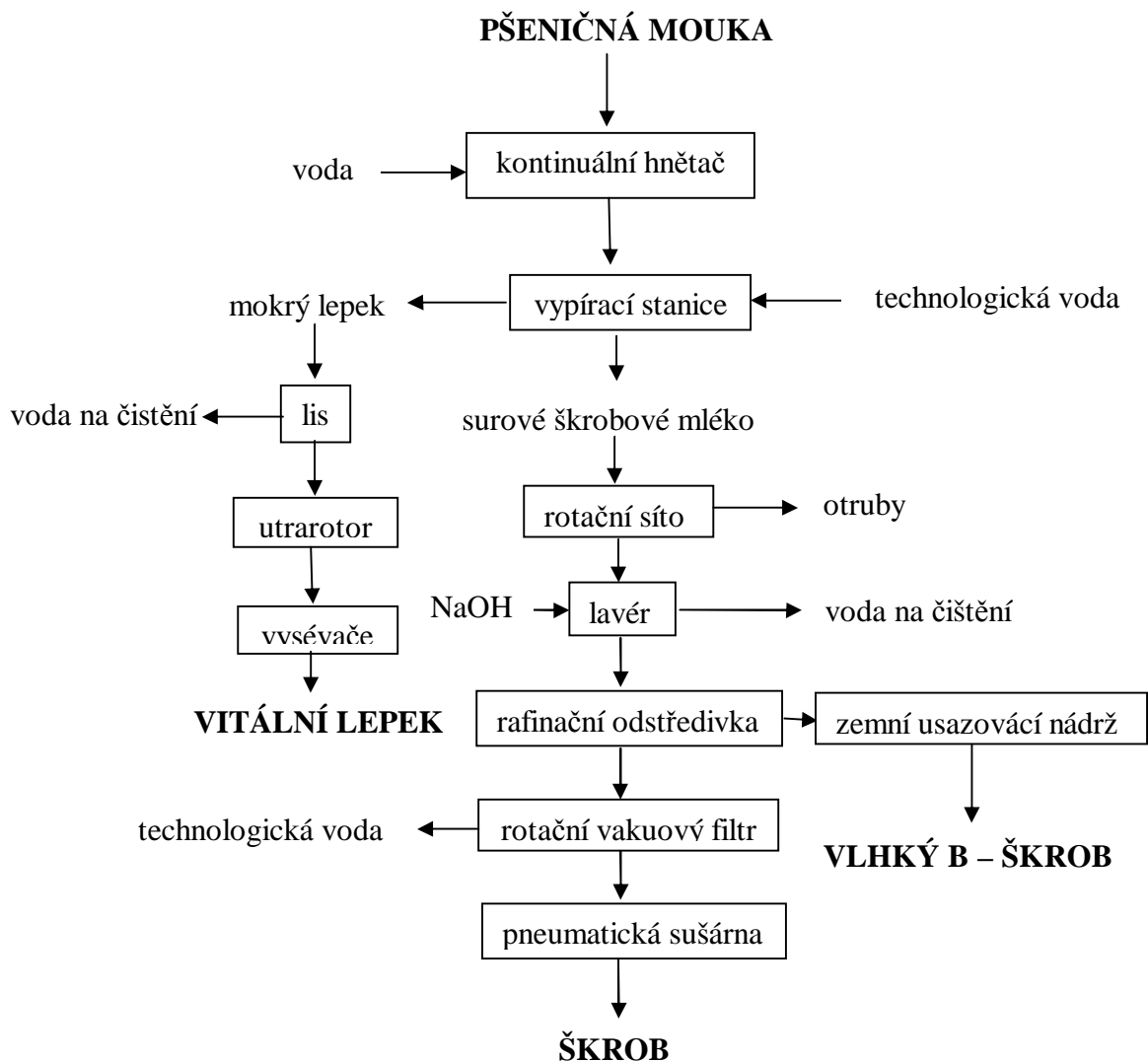
- pšeničný škrob obsahuje větší množství dusíkatých látek (omezené dietetické využití – bezlepkové; vznik barevných sloučenin Maillardovou reakcí při výrobě glukózových sirupů);
- méně vhodný pro výrobu některých modifikovaných a substituovaných škrobů (kompaktní struktura zrna) [1].

Výnosy pšenice se pohybují od 4 do 7 t.ha⁻¹, což přibližně odpovídá 2,72 až 4,76 t škrobu z jednoho hektaru orné půdy [23].

Pšeničný škrob se získává několika postupy:

1.3.1 Martinův způsob

Jedná se o klasický způsob (Obr. 9), kdy se pšeničná mouka zadělá s vodou na husté těsto, které se po odložení v protiproudech vypíracích bubnech vypírá vodou. Těsto se rozdělí na dvě složky: pšeničnou bílkovinu – lepek, který se suší ve speciální sušárně za nízké teploty a je velmi cenným vedlejším produktem (použití v pekařství a dalších potravinářských technologiích); a pšeničný škrob odcházející z vypíracích bubnů ve formě škrobového mléka, které se rafinuje, předsouší a suší [1, 23].



Obr. 9 Schéma Martinova způsobu výroby pšeničného škrobu [1]

1.3.2 Vysokotlaký desintegrační proces

Nové postupy výroby pšeničného škrobu jsou založeny na separaci složek velmi řídkého těsta na dekantačních odstředivkách a dosahují 100 % využití sušiny pšeničného zrna. Vedlejším produktem je vedle lepku jakostní krmivo. Třífázové dekantační odstředivky zpracovávají řídké těsto (5 – 15 % mouky, zbytek voda) do tří proudů: A - škrob + vláknina, B – škrob (gluten) a viskózní pentózy a další rozpuštěné látky. Hlavní výhodou tohoto postupu je snížení spotřeby vody jen na 300 % mouky (původní Martinův postup vyžadoval 1000 – 1500 %, po zdokonalení 500 – 700 %) a zvýšení výtěžku A – škrobu o 10 % [1, 23].

1.3.3 Alkalický způsob

Při alkalickém způsobu výroby pšeničného škrobu se pšeničná mouka míchá v roztoku hydroxidu sodného (pH = 10 – 11) při teplotě 40 °C. Pšeničná bílkovina se rozpustí a získaný škrob se dále rafinuje. Pšeničný škrob se dodává na trh ve dvou jakostních druzích pšeničný pudr I a pšeničný pudr II o sušíně 85, resp. 86 % [23].

1.4 Využití škrobu

Využití škrobu má velmi dlouhou historii. Stopy lepidel připravených z pšeničného škrobu byly nalezeny na egyptských papírech datovaných kolem roku 3 500 př. n. l. Taktéž staré čínské písemnosti se dochovaly na materiálech vyrobených pomocí škrobu. V Evropě byl škrob používán po dlouhou dobu jako základní surovina pro výrobu pudrů, zásypů, úpravu textilií a měl další technické použití. Rozvoj škrobářské technologie nastal po objevu kyselé hydrolyzy škrobu počátkem 19. století a rovněž po objevu výroby technických dextrinů – hlavní složky řady lepidel [24].

V ČR tradičně převažovala výroba škrobu z brambor, který se vyznačoval vysokou kvalitou. Ještě v 80. letech tohoto století činil podíl bramborového škrobu přes 80 %, zbytek připadl na škrob pšeničný a kukuřičný škrob se nevyráběl. V 90. letech výroba především bramborového škrobu výrazně poklesla, zvýšila se cena brambor, ekologické problémy s odpadními vodami (kampaňové provozny), řada škrobáren byla zrušena a některé škrobárny přešly na výrobu pšeničného škrobu. V současné době se v ČR ročně vyrobí asi 17 tis. tun škrobu bramborového a 16 tis. tun škrobu pšeničného [24].

Pekařství

- využití jako regulátorů distribuce vody při tvorbě chleba, pečiva s prodlouženou trvanlivostí, jako prostředku pro zlepšování přísady mouk, k zahuštění náplní;
- využití nativního škrobu, převážně pšeničný a kukuřičný.

Cukrářství

- při výrobě želé nahrazuje až 30 % želatiny;

- kukuřičný škrob se využívá k výrobě čistě škrobového želé;
- využití škrobového sirupu při výrobě fondánů a kandytů.

Mlékárenství

- využití jako zahušťovadla a stabilizátory instantních polotovarů, stabilizátory a vodovazné prostředky kysaných výrobků, stabilizátory mražených krémů, antikrystalizační a stabilizující prostředky při výrobě mražených výrobků;
- využití převážně škrobových sirupů a maltodextrinů.

Konzervárenství

- využití jako zahušťovadla kečupů a marmelád, vodovazné prostředky při mrazírenství bez retrogradace pod $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- nízkorozpustné dextriny upravují texturu přesmažených výrobků [25].

Důvody pro využití pšenice k produkci škrobu spočívají v příznivých klimatických podmínkách střední Evropy pro produkci pšenice, ve vysoké výnosové úrovni odrůd pšenice i v intenzivitě jejího pěstování. Řeší se tak existující nadprodukce a nemusí se dovážet drahá kukuřice. Přitom se vedle škrobu dá z pšenice získat i lepek, který je na světovém trhu velmi ceněn [26].

Dosud se k výrobě škrobu 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 (Tab. 2), mezi kterými převládají odrůdy potravinářské jakostní skupiny elitní (E) a kvalitní (A) a vůbec se na zpracovanou odrůdu nebere zřetel [26].

Tab. 2 Přehled odrůd pšenice vhodných pro produkci škrobu [26]

Odrůda	Rok povolení	Jakostní skupina	Rajonizace oblasti	Vlastnosti
Siria	1994	B	bram. a obil. oblast	pozdní, dobrý zdravotní stav
Estova	1995	C	do všech oblastí	pozdní, výnosná odrůda
Versailles	1997	C	všechny, zvl. marinální.	polopozdní intenzivní odrůda
Contra	1998	C	střední polohy bram. a bram.-ovesné	polopozdní, výnosově stabilní
Samara	1995	C	chladnější bram. oblast	polopozdní, výnosná odrůda
Šárka	1997	B	řepařská a bram. oblast	poloraná, vysoké a stabilní výnosy

2 VLASTNOSTI PŠENIČNÉ MOUKY

Pšenice (Obr. 10) je vedle rýže nejrozšířenější kulturní rostlinou na světě. Pro potravinářské užití se pěstuje dva botanicky rozdílné druhy – *Tritium aestivum* (pšenice obecná, měkká, pekařská, s vyšším obsahem škrobu, 85 % úrody) a *Tritium durum* (pšenice durum, tvrdá, těstářenská, sklovitá s vyšším obsahem lepku, 11–12 % úrody). V jádru jsou obsaženy i nerozpustné bílkoviny gliadin a gluten, které jsou schopny vázat vodu a vytvářet v těstu bílkovinný komplex označovaný jako lepek [2, 27].

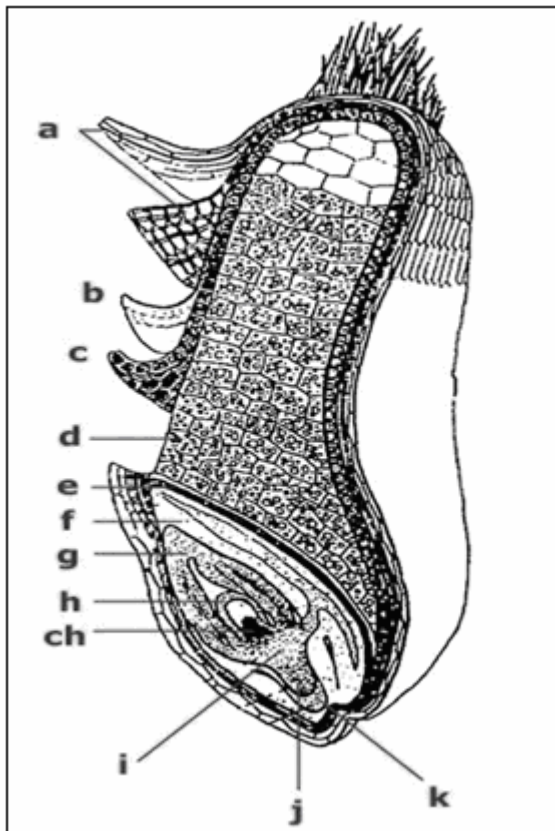


Obr. 10 Pšenice (*Tritium*) [6]

Za mouku považujeme mlýnský obilný výrobek, získaný mletím obilí a tříděný podle velikosti částic, obsahu minerálních látek a druhu použitého obilí [28].

2.1 Obilné zrno

Obilka (Obr. 11) se skládá z endospermu (84 – 86 % hmotnosti zrna), klíčku (pouze 3 % hmotnosti) a obalových vrstev (8 – 14 %). Hmotnostní podíl těchto částí zrna je rozdílný u jednotlivých obilovin a je proměnlivý vlivem vnitřních a zejména vnějších faktorů (odrůda, půdní a klimatické podmínky, hnojení, agrotechnika atd.) [29].



Obr. 11 Anatomická stavba obilného zrna
[30]

Popis obrázku:

a-oplodí,

b-osemení,

c-vrstva aleuronových buněk,

d-endosperm,

e-vrstva palisádových buněk,

f-štítek,

g-koleoptile, pochva listu,

h-základ 1. pravého listu,

ch-vzrostný vrchol,

i-mezokotyl,

j-základ kořínku,

k-kořenová pochva (koleorhiza)

Endosperm je tvořen velkými hranolovitými buňkami a obsahuje především škrob (téměř 75 %) a bílkoviny. Ta tvoří přibližně 10 % obsahu endospermu, ale kolísání jejího obsahu a její rozdílná kvalita je určující pro pekárenskou zpracovatelskou kvalitu pšeničné mouky. Endosperm je od obalových vrstev oddělen vrstvou aleuronových buněk, obsahujících bílkoviny, minerální látky, tuky a vitaminy. Tato část zrna zajišťuje výživu zárodku, při zpracování tvoří podstatnou složku finálního výrobku a při výživě a krmení je hlavním zdrojem energie a bílkovin [4, 29].

Klíček je oddělen od endospermu štítkem, který obsahuje až 33 % bílkovin. Slouží jako zárodek nové rostliny, které musí být pohotově v době příznivých podmínek pro vyklíčení k dispozici. Kromě jednoduchých cukrů obsahuje klíček bílkoviny, aminokyseliny, vitaminy rozpustné ve vodě (hlavně vit. B₁) a značné množství vitamínu E. Klíček obsahuje také tuk, a proto musí být klíček před mletím z obilky odstraněn. A to tak, aby v získané mouce nebyl tuk hydrolyzován a nevznikla žluklá chuť [29].

Obaly jsou tvořena několika vrstvami buněk, které chrání endosperm a klíček před vysycháním a mechanickým poškozením. Obalové vrstvy se skládají z oplodí (*pericarp*) a osemení (*perisperm*). *Pericarp* tvoří pokožka (*epidermis*), buňky podélné (*epicarp*), buňky příčné (*mesocarp*) a buňky hadicové (*endocarp*). *Perisperm* je tvořeno vrstvou barevnou a hyalinní [29].

2.2 Chemické složení mouky

Chemické složení mouky (viz Tab. 3) se mění v závislosti na druhu mouky, způsobu a době skladování apod. [31].

Tab. 3 Obsah základních složek v daných druzích pšeničné mouky dle potravinářských tabulek [32]

		Pšeničná mouka (1kg)		
		hladká	hrubá Zlatý klas	výběr polohrubá
Energie	(kJ)	14 780	14 700	14 570
	(kcal)	3 530	3 510	3 480
Bílkoviny (g)		113,0	98,0	93,0
Tuky (g)		15,0	12,0	9,0
Kyselina linolová (g)		7,0	6,0	5,0
Sacharidy (g)		733,0	752,0	756,0
Vápník (mg)		190	120	140
Železo (mg)		15,2	9,8	8,7
Vitaminy	B ₁ (μg)	2,270	0,800	0,610
	B ₂ (μg)	0,640	0,270	0,400

2.2.1 Bílkoviny

Obilné bílkoviny mají rozhodující vliv na technologii a znaky jakosti těsta a pečiva. Převážnou část obilných bílkovin tvoří jednoduché bílkoviny, především albuminy, globuliny, prolaminy a gluteliny. Zvláštní postavení má zejména bílkovina pšeničná, která jako jediná vytváří běžně s vodou pružný gel tzv. lepek (80 – 88 % veškerých moučných bílkovin), jehož fyzikální vlastnosti určují jakost pečiva. Lepek se skládá ze 43 – 57 % gliadinu, 33 - 39 % gluteninu, 4 – 5 % tuku a 8 – 10 % ostatních látek, převážně sacharidů [29, 31].

Lepek se stanoví vypráním odleženého těsta vodou, dnes převážně pomocí přístroje Glutomatic (Obr. 12). Získá se tzv. mokrý lepek ve formě pružného a vazného gelu. Jeho vlastnosti a množství (20 – 35 %) ovlivňují v převážné míře pekařskou jakost pšeničné mouky. Jakost lepku je do značné míry určena tzv. silou mouky [29, 31].



Obr. 12 Glutomatic [33]

Bobtnání bílkovin má velký význam při vzniku těsta. Zvětšení objemu zbobtnalých částic působí zvýšení jejich povrchového napětí, v jehož důsledku dochází ke spojování bílkovinných částíček, micel na vlákénka, která dalším spojováním ve větší celky vytvoří při zpracování těsta (mísení) bohatou síťovinu pružných a tažných bílkovinných vláken. Tato síťovina prostupuje veškerou hmotu těsta a je vyplněna zbobtnalými částíčkami škrobů, slizů, celulosy, hemicelulosy, tuky a ostatních složek mouky [31].

Stejně důležitá vlastnost jako bobtnání je pevnost a pružnost bílkovinných vláken. Vytvořená síťovina musí být schopná napínání tlakem kvasných plynů v těstu, nesmí být ani příliš pevná, ani příliš volná. Příliš pevná by bránila kvasným plynům v rozpínání síťoviny a zvětšování objemu těsta, málo pevná a pružná by nebyla schopná zadržet kvasné plyny.

Pro pekařské účely, pro kynutá těsta je proto nejvhodnější mouka s lepkem značné pružnosti a střední tažnosti, která je současně schopna dostatečně bobtnat [31].

V pekařství má neobyčejný význam denaturace a koagulace moučných bílkovin vlivem zvýšených teplot, k nimž dochází při pečení těsta. Během tvorby těsta přecházejí bílkoviny mouky ze stavu zaschlého gelu do stavu zbobtnalého gelu, částečně až do stavu solu, během pečení pak do stavu kolagenu [31].

2.2.2 Tuky

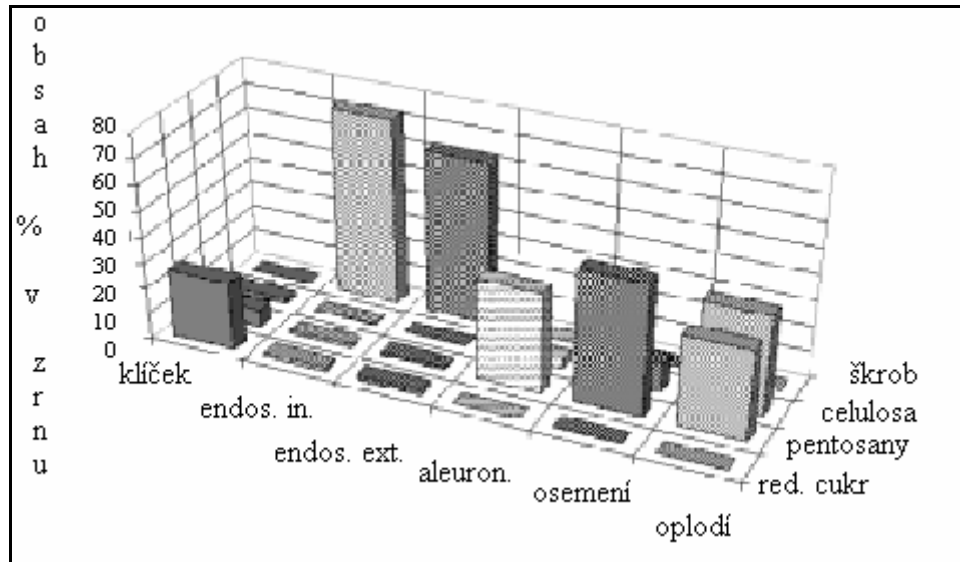
Tuky tvoří malý hmotnostní podíl obilného zrna. Jsou obsažené v mouce převážně jako smíšené triacylglyceroly nasycených i nenasycených kyselin. V tuku pšeniční mouky jsou to především nenasycené kyseliny: olejová ($C_{18}H_{34}O_2$): 16 – 18 %, linolová ($C_{18}H_{32}O_2$): 48 - 57 %, palmitová ($C_{16}H_{32}O_2$): cca 20 %, stearová ($C_{18}H_{36}O_2$): 1,5 % a také v menší míře linoleová ($C_{18}H_{30}O_2$): cca 5 %. Tuk obsažený v obilce nemá větší technologický význam (klíčky jsou před mletím odstraňovány). V případě nevhodného skladování mouky může však dojít k hydrolyze tuku a nežádoucímu zvyšování kyselosti mouky. Žluknutí je podmíněno většinou vyšší vlhkostí obilí a rozvojem plísní produkujících lipázy [29, 31].

Přítomnost malého množství tuku a zejména fosfolipidů (lecitinu) v mouce je technologicky nutná. Obě skupiny látek totiž při mísení a zrání těsta vytvářejí s lepkem komplex, čímž podporují jeho bobtnavost [31].

2.2.3 Sacharidy

Sacharidy tvoří hlavní podíl jednotlivých složek obsažených v obilovinách. Kromě škrobu (popsán v předchozí kapitole 1), jsou v mouce přítomny monosacharidy např. pentózy, které jsou základními stavebními částicemi pentózanů, důležitých složek podpurných pletiv. Dále z nižších sacharidů to je glukóza, fruktóza a galaktóza. Tyto cukry jsou většinou obsaženy v oligosacharidech (sacharóza, rafinóza). Další důležitý disacharid je maltóza. Maltózové číslo se využívá ke zjišťování tzv. cukrotravné schopnosti mouky [29, 31].

Obsahy hlavních skupin sacharidů v jednotlivých částech pšeničného zrna jsou znázorněny na Obr. 13.



Obr. 13 Obsahy hlavních typů sacharidů v jednotlivých částech pšeničného zrna [4]

Vlákninu v mouce představují nestravitelné nebo těžce stravitelné polysacharidy, hlavně celulóza a hemicelulóza, dále pak lignin, pektinové látky, rostlinné gummy aj. Nacházejí se především v obalových částech a v aleuronových vrstvách zrna. Vlákna je v potravě žádoucí, protože omezuje výskyt tzv. civilizačních chorob (rakovina trávicího ústrojí, arteriosklerózy aj.) [31].

U slizů se většinou jedná o různě zesíťované makromolekuly polysacharidů na bázi pentóz – xyulózy a arabinózy – čistých pentózanů, nebo příslušných glykoproteinů. Slizy jsou polyfunkční, tvoří jednak součást buněčných stěn, buněčného obsahu a zúčastňují se metabolismu (tzv. ve vodě rozpustné pentosany) [29].

2.2.4 Minerální látky

Popeloviny obsažené v mouce jsou minerální látky, které po spálení mouky zanechávají nespalitelný podíl, popel. Maximální obsah minerálních látek byl zjištěn v osemení a v aleuronové vrstvě. Největší podíl minerálií tvoří oxid fosforečný (polovinu celkového obsahu) a to většinou ve formě fytinu. Dále jsou přítomny ve větším množství oxid draselný, hořečnatý, vápenatý a v malém množství oxid sodný, křemičitý aj. Minerální látky mají technologický význam, jelikož se mlýnsko-technologické procesy řídí a mouky připravují podle obsahu popela [29, 31].

2.2.5 Vitaminy

Obiloviny lze považovat za zdroj vitaminů skupiny B. Thiamin (vitamin B₁) a riboflavin (B₂) se vyskytují v obalových vrstvách většiny obilovin a v klíčcích. Ve světlých moukách zbývá podle stupně vymletí jen cca 10 – 20 % původního obsahu vitaminů B skupiny v zrně. V tmavých moukách může být zachováno až 40 % původního obsahu. Kyselina nikotinová a nikotiamid, další z vitaminů skupiny B jsou ve vyšších množstvích přítomny v pšenici a ječmeni. V pšeničných klíčcích se ve vysoké koncentraci z lipofilních vitaminů vyskytuje vitamin E (tokoferol). Z těchto klíčků se dokonce izoluje při výrobě vitaminových preparátů ve farmaceutickém průmyslu [4].

Podvýživa postihuje více než polovinu světové populace, zejména v rozvojových zemích. Snížení nedostatku stopových prvků může přispět významně ke zlepšení zdraví a produktivity. Nedostatky vitamin A, železa, zinku a jódu jsou globální problémy, které se týkají alespoň 30 % světové populace. Mouka může být obohacena o 100 mg zinku.kg¹ mouky, aniž by nepříznivě ovlivnila smyslové vlastnosti výrobků z mouky. Denním příjmem 100 g obilovin obohacené o 20 µg zinku, by děti obdrželi 20% jejich denní dávky zinku. V rozvojových zemích jsou obiloviny považovány za ideální prostředek pro obohacení, protože cca 95 % populace spotřebovává obiloviny jako hlavní potravinu. Jsou poměrně levné a spotřebovávají se na celém světě ve všech ekonomických třídách. Přibližně 600 miliónů metrických tun pšeničné a kukuřičné mouky jsou ročně mlety a jsou konzumovány jako různé moučné výrobky v téměř každém národu světa. Pšeničná mouka je hlavní potrava obyvatel v indickém subkontinentu a poskytuje více než 50 % celkového energetického příjmu [34].

3 HODNOCENÍ TECHNOLOGICKÉ KVALITY PŠENIČNÉ MOUKY

Hodnocení kvality pšeničné mouky má velký význam pro pšeničný průmysl. Při výrobě pekařských výrobků jsou požadovány co nejpřesnější metody pro hodnocení kvality [35].

3.1 Objemová výtěžnost

Objemová výtěžnost neboli měrný objem pečiva je stanoven Rapid Mix Testem (pekařský pokus). Představuje hlavní a nejdůležitější kritérium kvality a odpovídá ve velké míře svým významem zařazení odrůd pšenice do kvalitativních skupin pro pekárenské zpracování. Je v kladné korelaci k hodnotám sedimentačního testu. Součástí pekárenského pokusu je komplexní hodnocení pečiva. To zahrnuje v bodovém hodnocení kromě objemové výtěžnosti další posouzení především vlastnosti těsta její parcelace, stejnoměrnost pórů, pružnost střídy a chuť pečiva [36].

U upečeného pečiva se zjistí pomocí speciální metody objem pečiva a přepočítá se na 100 g mouky. Zjistí se tak měrný objem pečiva v ml. Čím je tento měrný objem pečiva vyšší, tím je odrůda pšenice vhodnější pro pekárenskou výrobu [37].

3.2 Obsah dusíkatých látek

Obsah dusíkatých látek je ovlivněn dusíkatým hnojením, předplodinou, teplotními podmínkami prostředí (v teplejších oblastech je vyšší) a ročníkem. Stoupající obsah pozitivně působí na chování pečiva při pečení, má vliv na povahu (jakost) těsta a objem pečiva [36].

Při nedostatku dusíku v půdním prostředí se jeho obsah v rostlině silně snižuje. Rostliny se slabě vyvíjí, porosty jsou na pohled nevyrovnané, se světlými listy. Podle stupně nedostatku N se mění barva listů od bledě zelené po žlutou. V době odnožování se snižuje počet odnoží, vegetační vrchol je krátký, redukuje se počet stébel, klas je krátký s malým počtem zrn. Zrno má nízkou hmotnost a výrazně zhoršené technologické parametry. Mouka získaná semletím zrna je pekařsky slabá, což se negativně projevuje v kvalitě hotového výrobku (Obr. 14) [38].



Obr. 14 Vliv dávek dusíku na kvalitu pekárenských výrobků z pšenice [38]

Rozdělení dávky dusíku v průběhu vegetace a stanovení množství aplikovaného N je závislé od vlastností jednotlivých odrůd pšenice a jejich využití:

- u odrůd pšenice určených pro **pekárenské účely**, tzn. pro výrobu chleba a pečiva, je nutno respektovat výnosotvorný prvek, který má největší význam pro výnos dané odrůdy;
- u odrůd pšenice určených pro **pečivářenské účely** tzn. pro výrobu sušenek, oplatků apod. aplikace N přesunuta do jedné případně dvou dávek v první polovině vegetace; také pečlivě dodržovat specifika jednotlivých odrůd a jejich zařazení do skupin dle užití (E, A, B, C);
- pšenice pěstovaná pro **škrobářenské** nebo případně **lihovarské** využití by měla rovněž být hnojená výrazně vyšší dávkou dusíku již v první polovině vegetace [38].

Dle ČNS 46 1011–18 se dusíkaté látky stanoví titračně alkalimetry (acidimetry) po mineralizaci vzorku horkou kyselinou sírovou za přítomnosti katalyzátoru převedením na síran amonný, vytěsněním amoniaku hydroxidem sodným a jeho predestilováním do kyseliny sírové (borité). Obsah dusíkatých látek se vypočítá ze zjištěného obsahu dusíku vynásobením uzančným přepočítacím faktorem. Pokud výsledek stanovení neslouží jako

podklad pro výpočet výživové hodnoty potravin a krmiv, platí pro pšenici, žito a výrobky z nich faktor 5,7. Pro ječmen a ostatní obiloviny platí faktor 6,25 [39].

3.3 Sedimentační test

Sedimentační test podle Zelenyho charakterizuje kvalitu lepkové bílkoviny, pozitivně koreluje s obsahem dusíkatých látek a objemem pečiva. Je to výrazně geneticky založený znak, umožňující selektovat odrůdy se špatnými viskoelastickými vlastnostmi lepkové bílkoviny [36].

Podle používané dezintegrace zrna, roztoků činidel a způsobu míchání můžeme rozlišit sedimentační test podle Zelenyho a SDS – sedimentační test. V podmínkách ČR je zatím používán SDS – sedimentační test používající pšeničný šrot a jako činidlo roztok dodecylsulfátu sodného v kyselině octové podle ČSN 46 1021. Mezní hodnotou pro vyřazení odrůdy z kategorie pekárenská pšenice je hodnota sedimentačního testu (SDS sedimentační test) ve výši 47 ml [37].

Sedimentační test lze také vyjádřit jako objem sedimentu pšeničné mouky (jako měřítka jakosti a množství lepkových bílkovin) získaného ze suspenze této mouky v slabě kyselém prostředí vodné fáze kyseliny mléčné během určeného času za podmínek příslušné metody [40].

Postup zkoušky:

Odváží se 3,2 g pšeničné mouky o předepsané granulaci a nasype do sedimentačního válce se zábrusem a dobře těsnící zátkou o obsahu 100 ml, kalibrovaného po jednom ml a přidá se 50 ml destilované vody, slabě obarvené bromfenolovou modří. Válec se uzavře zátkou a několikrát protřepe v ruce. Pak se upevní do upínací desky přístroje (seditestu, Obr. 15) a po jeho zapojení se 8 minut kývá při předepsaném rytmu. Poté se válec odzátkuje, přidá se 25 ml roztoku kyseliny mléčné a opět se zazátkuje. Přístroj se opět uvede do chodu a obsah sedimentačního válce se promíchá po dobu 30 vteřin. Potom se přístroj zastaví a obsah válce se nechá sedimentovat. Po 8 minutách se odečte objem sedimentu s přesností na 1 ml [40].

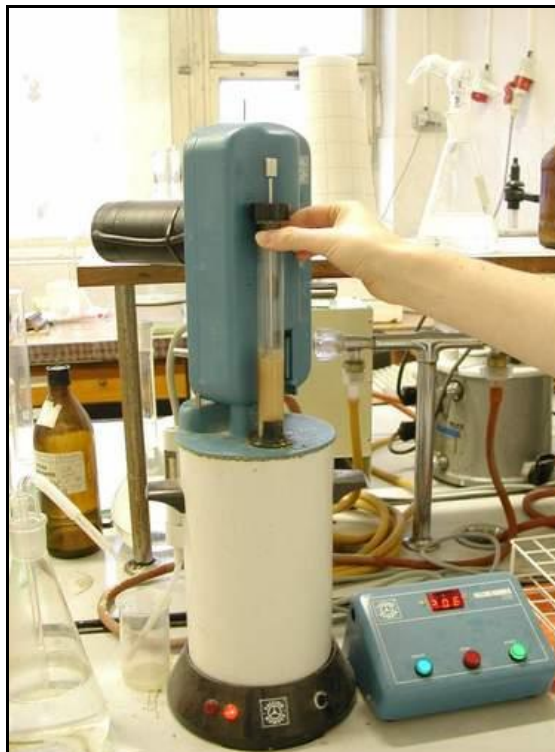


Obr. 15 Přístroj na stanovení sedimentačního indexu [39]

3.4 Číslo poklesu

Číslo poklesu (pádové číslo, viskotest) je kritériem pro odhalování poškození zásobních látek endospermu pšeničného zrna hydrolytickými enzymy, syntetizovanými v zrně v důsledku startu procesu klíčení zrna v klasu před sklizní při nadměrném příjmu vlhkosti. Je významně ovlivněno průběhem počasí v době dozrávání zrna a sklizně, ale také odrůdou [36].

Číslo poklesu vyjadřuje aktivitu amylolytických enzymů v zrně. ČSN 461100–2:2001 požaduje, aby pšeničné zrno, určené na pekárenské zpracování, mělo číslo poklesu alespoň 220 s. Praxe však ukazuje, že optimální hodnoty jsou pouze v rozsahu 220 – 250 s. Důvodem je to, že zrno s číslem poklesu nižším než 220 s má vysokou aktivitu amylolytických enzymů a je často porostlé. Zrno s číslem poklesu vyšším než 250 s má nízkou aktivitu amylolytických enzymů a před zpracováním je nutné ji zvýšit. Největší vliv na hodnotu čísla poklesu má teplota a srážky v červenci, kdy se rozhodujícím způsobem dotváří úrodotvorné prvky porostu a determinují se parametry potravinářské kvality. Při vydatných srážkách ve sklizňové zralosti může dojít k porůstání zrna a následnému snížení čísla poklesu [41]. K měření se používá přístroj Falling Numer (Obr. 16) [40].



Obr. 16 Přístroj na stanovení čísla poklesu [40]

Postup zkoušky:

U vzorku zrna se stanoví vlhkost. Při odlišné vlhkosti než 14 % se upraví navážka semletého vzorku dle přepočítávací tabulky. Cca 300 g vzorku se semele na předepsanou velikost částic – sítko s otvory 0,8 mm a odváží se 7 g (při 15% vlhkosti). Do zkumavky se odměří 25 ml destilované vody, do které se vsype 7 g vzorku. Zkumavka se uzavře zátkou a 20 – 30krát se intenzivně protřepe. Viskometrickým míchadlem se ze stěn zkumavky stáhne ulpělá suspenze. Zkumavka s míchadlem se vloží do přístroje (vodní lázně udržované na bodu varu). Po nastavení přístroje do pracovní polohy se automaticky zahájí měření. Suspenze ve zkumavce je 60 s promíchávána míchadlem ve vařící vodní lázni, poté se míchadlo uvolní v horní poloze a klesá zmazovatělou suspenzí na dno zkumavky. Výsledné číslo poklesu je doba v sekundách, za kterou urazí míchadlo zmazovatělou suspenzí předepsanou vzdálenost, přičemž se do výsledné hodnoty čísla poklesu započítává i 60 s promíchávání [40].

3.5 Objemová hmotnost

Objemová hmotnost je poměr hmotnosti zkoušené obiloviny k objemu, který zaujímá po volném nasypání do nádoby zkoušeče, tzv. objemové váhy. Objemová hmotnost se vyjadřuje v $\text{kg}\cdot\text{hl}^{-1}$ [40].

Dle ČSN 461100–2:2001 má být hodnota objemové hmotnosti minimálně $76,0 \text{ kg}\cdot\text{hl}^{-1}$ [41].

Objemová hmotnost je jedním z ukazatelů mlynářské jakosti. Pro mlýnské zpracování se vyžadují obilky středně velké až velké s mělkou rýhou, u kterých je vyšší výmelnost mouky a nižší podíl otrub [40].

Objemová hmotnost zrna je ovlivňována průběhem počasí v době dozrávání. Dlouhodobé sucho a vysoké teploty vedou k vytvoření drobného zrna, dále odrůdou, výživným stavem porostu. Při dostatku vláhy může zvýšit hmotnost obilek pozdní přihnojení dusíkem v době metání [40].

3.6 Vaznost

Velmi důležitým kritériem je vaznost mouky, tj. schopnost vázat vodu. Vyjadřuje se v procentech, která udávají množství vody (v gramech) vázané 100 g mouky. Pšeničné pečivářské mouky hladké mají vaznost průměrně 58 – 62 %. Proto platí, že čím vyšší je vaznost mouky, tím větší musí být dávka vody a naopak [42].

3.7 Vlhkost

Vlhkost se stanoví jako úbytek hmotnosti zkušebního vzorku po sušení za předepsaných podmínek [43].

3.8 Obsah lepku

Obsah lepku je stanovován ve mlýně a měl by být deklarován při dodávce mouky odběrateli. Nejvíce pekařsky kvalitních bílkovin obilného zrna je obsaženo v krupicích a v prvních moukách z počátečních chodů ve mlýně (přední mouky) [44].

Mokrý lepek je hlavní podíl pšeničné bílkoviny, tvoří ho dvě základní složky - gliadiny a gluteniny. Jsou to frakce nerozpustné ve vodě a v roztoku NaCl, rozpouští se v etanolu. Mokrý lepek se získává vypíráním zadělaného těsta [40].

Obsah lepkové bílkoviny spolu s jejími viskoelastickými vlastnostmi se podílejí na technologické jakosti potravinářské pšenice. Ne vždy samotný vysoký obsah lepku bez zjištění jeho viskoelastických vlastností znamená vysokou technologickou jakost pšeničné odrůdy [45].

Tento parametr lze ovlivnit agroekologickými opatření, především dusíkatým a draselným hnojením [45].

Postup zkoušky:

Odváží se 10 g šrotu předepsané granulace, navážka se zadělá s 5 ml 2% roztoku chloridu sodného, dokonale se prohněte a vytvoří se z něj těstová kulička. Z té se ihned vypírá lepek ručně nebo pomocí speciálních vypíracích přístrojů. K vypírání se používá tenkého proudu vody 18 – 20 °C. Těstová kulička se hněte tak dlouho až odtéká čirá voda bez vyplaveného škrobu a kapka vypírací vody nekalí vodu v kádince. Přebytečná voda z vypraného lepku se odstraní v glutolisu. Potom se lepek zváží s přesností na jedno desetinné místo a výsledek se vyjádří v % sušiny [40].

Výpočet obsahu mokrého lepku v sušině v %:

$$x = \frac{a \cdot 100}{100 - b}$$

a..... obsah vypraného lepku (%);

b..... vlhkost zrna (%).

Země EU nepoužívají jako kritéria technologické jakosti potravinářské pšenice obsah mokrého lepku, ale užívají obsah dusíkatých látek a sedimentační test. Z toho důvodu byl od 1. 7. 1998, kdy vstoupila v platnost změna 1 ČSN 46 1100–2 “Potravinářská pšenice” mokrý lepek nahrazen obsahem dusíkatých látek a sedimentačním testem [40].

3.9 Obsah popele

Popel neboli množství minerálních látek, které zůstane po spálení zkušební vzorku za podmínek metody.

Hmotnostní zlomek popela, vyjádřený v procentech vztažených na hmotnost sušiny (w_0) se vypočítá podle vzorce:

$$w_0 = \frac{100 \cdot m_1}{m_0} \cdot \frac{100}{100 - w_1}$$

m_1 hmotnost popela (g);

m_0 hmotnost vzorku (g);

w_1 obsah vody ve vzorku (%) [46].

3.10 Stanovení hrubých nečistot

Hrubé nečistoty (např. kousky dřeva, klasů, slámy, kaménky, hrudky hlíny) z laboratorního vzorku se zváží a vyjádří se v procentech z celkové hmotnosti vzorku [40].

$$H = \frac{m_1}{m_2} \cdot 100$$

m_1 hmotnost hrubých nečistot (g);

m_2 hmotnost laboratorního vzorku (g).

3.11 Stanovení nečistot a příměsí

$$\text{Celkový obsah nečistot} = \frac{m_1 + m_2 + \dots}{m} \cdot 100 + H$$

m_1, m_2 jednotlivé složky nečistot (g);

m hmotnost zkušebního vzorku (g);

H obsah hrubých nečistot (%).

Obsah příměsí a nečistot se uvádí na jedno desetinné místo v % [40].

4 POŽADAVKY NA KVALITU PŠENIČNÉ MOUKY

O zařazení odrůdy pšenice do kategorie pšenice potravinářské rozhoduje technologická jakost. Ta je ovlivněna řadou faktorů, které je možno shrnout do dvou základních skupin:

- pšenice pro pekárenské zpracování (určené pro výrobu převážně kynutých těst);
- pšenice pečivářské pro výrobu keksů a sušenek (bisquitové);
- pšenice pro speciální použití (výroba škrobu a lihu);
- pšenice krmná [45].

Pro zařazení odrůdy je rozhodujících šest základních parametrů: měrný objem pečiva, hodnota sedimentačního testu podle Zelenyho, číslo poklesu, obsah dusíkatých látek, vaznost mouky a objemová hmotnost [36].

Odrůdy jsou zařazovány do kategorií:

- kategorie E = elitní pšenice
 - nejlepší, ve všech znacích vynikající, obecně by měly sloužit k vylepšení jakosti suroviny, toleruje se nižší výnos;
- kategorie A = kvalitní pšenice
 - ve všech parametrech vyhovují;
- kategorie B = chlebová pšenice
 - některý z parametrů může být na hranici, v méně příznivých ročních se očekává, že nesplní požadavky pro pekárenskou pšenici;
- kategorie C
 - odrůdy nevhodné pro pekárenské využití [36].

Minimální hodnoty pro zařazení odrůd do kategorií jsou zobrazeny v tab. 5.

Tab. 5 Minimální hodnoty pro zařazení odrůd do kategorií [36]

Kategorie	E – elitní		A – kvalitní		B – chlebová	
	absolutně	9-1	absolutně	9-1	Absolutně	9-1
Vyjádření hodnoty						
Objemová výtěžnost (ml)	530	8	500	6	470	4
Obsah dusíkatých látek (%)	12,6	6	11,8	4	11	2
Zeleného test (ml)	49	7	35	5	21	3
Číslo poklesu (s)	286	6	226	4	196	3
Objemová hmotnost (kg.hl⁻¹)	79,0	7	78,0	6	76,0	4
Vaznost mouky (%)	55,4	7	53,2	5	52,1	4

4.1 Požadavky na pšeničnou mouku pro pečivářenské účely

Pro pekářenskou výrobu je požadována pekařsky silná pšenice s pevným, nerozplývavým a velmi pružným lepkem v těstě. Ale pro většinu výrobků trvanlivého pečiva se vyžadují opačné vlastnosti lepku, přičemž by neměla být tato horší kvalita dosažena za cenu mechanického nebo enzymového poškození škrobu, případně i bílkoviny. Takto poškozené mouky jsou nežádoucí i pro trvanlivé pečivo [45].

Výroba trvanlivého pečiva:

- mouka musí pocházet ze zdravé pšenice, nepoškozená mechanicky, tepelně, chemicky ani enzymově a bez cizích mechanických nebo biologických příměsí;
- mouka se používá převážně hladká, pšeničná mouka pečivářská slabá, (obsah mokrého lepku 22–28 % v sušině, vlhkost nesmí být vyšší než 15 % v sušině);
- kvalita mouk má vliv na technologii výroby a kvalitu výrobků, oproti pekařským výrobkům nevede u trvanlivého pečiva vyšší obsah silnějšího lepku ke zvýšení výtěžnosti výrobků, nýbrž k výrobkům příliš kompaktním a tuhým, což je považováno za horší kvalitu;

- výroba sušenek, oplatků a výrobků ze šlehaných hmot:
 - vyžadována je mouka se slabým lepkem – obsah bílkovin 8-10 % nebo mouka s obsahem mokrého lepku v sušině do 30 %;
 - rozdíl oproti běžnému pšeničnému pečivu: při menším podílu vody v sušenkovém těstě proběhne nabobtnání lepkových bílkovin, jejich denaturace i mazovatění škrobu v omezené míře, z čehož vyplývá méně pevná stavební struktura výrobku;
 - při použití mouky, u výroby oplatků, s vyšším obsahem silného a pevného lepku, jsou oplatky příliš pevné a ostré při kousání; a při použití mouky s narušeným lepkem (termicky nebo enzymově), vzniknou oplatky křehké, ale za to drobné a neudrživující tvar;
- výroba *soda crackerů*:
 - pekařsky slabá mouka s obsahem bílkovin 9,5–10,0 % [45].

4.1.1 Základní kritéria hodnocení jakosti pšenice pro pečivářské využití

Pšenice potravinářská se podle užití rozděluje na pšenici pekárenskou a pšenici pečivářskou, které musí odpovídat hodnotám jakostních ukazatelů (ČSN 46 1100–2) a požadavkům stanoveným v ČSN 46 1100–1 (Tab. 6) [47].

Tab. 6 Hodnoty jakostních ukazatelů [47]

Ukazatel jakosti	Pšenice pekárenská	Pšenice pečivářská
Vlhkost (%)	nejvýše 14,0	nejvýše 14,0
Objemová hmotnost (kg.hl ⁻¹)	nejméně 76,0	nejméně 76,0
Obsah N-látek v sušině (N x 5,7) (%)	nejméně 11,5	nejvýše 11,5
Sedimentační index – Zelenyho test (ml)	nejméně 30	nejvýše 25
Číslo poklesu (s)	nejméně 220	nejméně 220

Pokračování Tab. 6

Ukazatel jakosti	Pšenice pekárenská	Pšenice pečivárenská
Příměsi a nečistoty celkem (%)	nejvýše 6,0	nejvýše 6,0
z toho:		
1. zlomky zrn	nejvýše 3,0	nejvýše 3,0
2. zrnové příměsi	nejvýše 5,0	nejvýše 5,0
z toho: tepelně poškozená zrna	nejvýše 0,5	nejvýše 0,5
3. porostlá zrna	nejvýše 2,5	nejvýše 2,5
4. nečistoty	nejvýše 0,5	nejvýše 0,5
z toho: tepelně poškozená zrna	nejvýše 0,05	nejvýše 0,05

4.2 Požadavky na pšeničnou mouku pro těstářenské účely

Pro výrobu jakostní těstářenské mouky se používá kvalitní pšenice, která má sytě zbarvená sklovitá zrna s vysokým obsahem bílkovin (12-16 %), tedy 35-50 % mokrého lepku. Těmto požadavkům nejlépe vyhovuje pšenice tvrdá (durum) *Triticum durum*, která má vysoký obsah žlutých a oranžových karotenových barviv a je sklovitá. Polohrubá mouka vyrobená z pšenice tvrdé se nazývá semolina. Tuto pšenici tvrdou nelze v našich podmínkách vypěstovat, ale musí se dovážet. Těstoviny se proto vyrábí také z polohrubé mouky vyrobené z potravinářské pšenice nebo ze směsi obou mouk [45].

5 VÍCEROZMĚRNÉ STATISTICKÉ METODY

Název vícerozměrné vychází z typu vstupních dat, tato data jsou tvořena jednotlivými objekty a každý z nich je charakterizován svými parametry a každý z těchto parametrů můžeme považovat za jeden rozměr objektu [48].

Vícerozměrné statistické metody lze rozdělit do dvou základních skupin podle účelu analýzy:

- techniky k určení vzájemných vazeb v proměnných znacích;
- metody sloužící ke klasifikaci objektů.

Techniky k určení vzájemných vazeb se dále dělí zda hledají

- strukturu a vazby ve znacích nebo
- strukturu a vazby v objektech, což je:
 - hledání struktury ve znacích v metrické škále
 - analýza hlavních komponent (PCA)
 - faktorová analýza (FA)
 - shluková analýza (CLU)
 - hledání struktury v objektech v metrické škále
 - shluková analýza (CLU)
 - hledání struktury v objektech v metrické i v nemetrické škále
 - vícerozměrné škálování (MDS)
 - hledání struktury v objektech v nemetrické škále
 - korespondenční analýza (CA) [49–51].

5.1 Standardizace vícerozměrných dat

Standardizace dat se provádí za účelem odstranění závislosti na jednotkách, na parametru polohy a v případě, pokud vykazuje některý ze znaků značně velký rozptyl oproti ostatním. Znaky či objekty mají po standardizaci nulovou střední hodnotu a rozptyl roven 1 [49–51].

5.1.1 Škálovací techniky

Sloupcové centrování

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

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

Sloupcová standardizace

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

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

Autoškálování

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

- autoškálování je kombinace sloupcového centrování a sloupcové standardizace; pro velké výběry má tvar

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - m_j}{s_j}.$$

Škálování sloupcovým rozsahem

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_j x_{ij}}{\max_j x_{ij} - \min_j x_{ij}}.$$

5.2 Exploratorní analýza dat

Exploratorní analýza (EDA – exploratory data analysis) slouží k prvotnímu seznámení se strukturou objektů. Tato průzkumová analýza vícerozměrných dat má za účel odhalení vybočujících bodů, indikování struktury v datech a popř. testování normality. Na základě získaných informací může být před vlastní statistickou analýzou provedena korekce výběru. Její techniky jsou zaměřeny na popisní charakteristiky a grafické zobrazení vícerozměrných dat.

5.2.1 Popisné charakteristiky vícerozměrných dat

Vícerozměrné normální rozdělení je rozšířením jednorozměrného normálního rozložení pro více jak jednu náhodnou proměnnou ($p \geq 2$). Rozdělení je určeno vektorem středních hodnot μ a kovarianční maticí C (matice složená ze směrodatných odchylek). Náhodný výběr charakterizovaný maticí X s vektorem střední hodnot μ a kovarianční maticí C je značen symbolem $X \sim N(\mu, C)$ [49–51].

Vlastnosti vícerozměrného normálního rozložení:

- lineární kombinace prvků X mají normální rozložení;
- všechny podmnožiny X mají normální rozložení;
- nekorelovanost náhodných proměnných z X znamená jejich nezávislost;
- všechna podmíněná rozdělení jsou normální [52].

5.2.2 Grafické zobrazení vícerozměrných dat

Pro zobrazení průzkumové analýzy vícerozměrných dat se používá různých grafických diagnostik umožňujících grafické zobrazení ve dvourozměrném popř. třírozměrném souřadnicovém systému.

Rozdělení diagnostik:

- zobecněné rozptylové diagramy (maticový graf);
- symbolové grafy (profily, polygony, tváře, křivky a stromy) [49–51].

5.3 Analýza hlavních komponent

Analýza hlavních komponent (PCA – principal component analysis) je určena k hledání struktury a vazby ve znacích, ale také mezi objekty, přičemž jí lze aplikovat na vstupní data metrické škály.

Metoda spočívá v lineární transformaci původních znaků $x = [x_1, x_2, \dots, x_m]$ do menšího počtu latentních proměnných $y_j, j = 1, \dots, m$, které již nejsou vzájemně korelované a tvoří nový souřadnicový systém. Tyto vzájemně ortogonální proměnné se v PCA nazývají hlavní komponenty.

Vlastnosti hlavních komponent (latentních proměnných):

- jsou lineárními kombinacemi původních znaků;
- korelační koeficienty mezi nimi se rovnají 0;
- každá je charakterizována mírou variability neboli rozptylem.

Hlavní komponenty jsou seřazeny sestupně s klesajícím rozptylem, vyjádřeným vlastními čísly $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_m$. K volbě počtu k využitých hlavních komponent se mohou použít následující pravidla:

- výběr k hlavních komponent objasňující procento P variability zdrojové matice dat; pro k tedy platí:

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

- výběr hlavních 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 poté představují vodorovné dno [49–51].

Výsledek analýzy hlavních komponent lze zobrazit v několika různých typech grafů:

- Cattelův indexový graf úpatí vlastních čísel (Scree Plot)
 - zobrazuje relativní velikost jednotlivých vlastních čísel;
 - využívá se k určení počtu k „významných“ hlavních komponent.
- Graf komponentních vah, zátěží (Plot Components Weights)
 - zobrazuje komponentní váhy čili zátěže pro první dvě hlavní komponenty;
 - ukazuje, jakou měrou přispívají jednotlivé původní znaky do hlavních komponent;
 - interpretaci grafu komponentních vah lze obecně shrnout do 3 bodů:
 - důležitost původních znaků $y_j, j = 1, \dots, m$;
 - korelace a kovariance;
 - spektroskopická data.
- Rozptylový diagram komponentního skóre (Scatterplot)
 - zobrazuje komponentní skóre t_1, t_2 obvykle pro první dvě hlavní komponenty u všech objektů;
 - výklad rozptylového diagramu komponentních skóre se týká:
 - umístění objektů;
 - podobnosti objektů;
 - objektů v shlucích;
 - osamělých objektů;
 - odlehlých objektů;
 - pojmenování objektů;
 - vysvětlením místa objektů.
- Dvojný graf (Biplot)
 - kombinuje předchozí dva grafy.

- Graf reziduí jednotlivých objektů
 - zobrazuje porovnávání rezidua jednotlivých objektů mezi sebou;
 - rozptyl reziduí jednoho i -tého objektu představuje vzdálenost mezi tímto objektem a modelem.
- Graf celkového reziduálního rozptylu všech objektů
 - obdoba grafu úpatí vlastních čísel a nalezení zlomu na sestupné křivce čili úpatí analogicky vystihuje optimální počet A využitelných hlavních komponent.

5.4 Faktorová analýza

Faktorová analýza (FA) je statická metoda, která je zaměřená na vytváření nových proměnných a na snížení rozsahu (redukci dimenze) dat s co nejmenší ztrátou informace. Zatímco metoda hlavních komponent provádí jen ortogonální transformaci vzájemně lineárně závislých proměnných s cílem usnadnit průzkumovou analýzu dat a umožnit snížení počtu proměnných pro potřeby jiných statistických metod, faktorová analýza vychází ze statistického modelu a rozumně formulovaných předpokladů [53].

Ve faktorové analýze se předpokládá, že každá vstupující proměnná může být vyjádřena jako lineární kombinace nevelkého počtu společných skrytých faktorů a jediného chybového faktoru [54].

FA vychází nejčastěji z korelační matice. Tento postup je výhodný ze dvou důvodů:

- FA možno realizovat na proměnných, které jsou měřené na různých škálách;
- FA vycházející z korelační matice nevyžaduje úplné „surové“ údaje, vystačí si jen s korelačními koeficienty; FA může však vycházet také z **variančně-kovarianční** matice; takový postup je vhodný tedy, kde se aplikuje FA na vícero skupin, v rámci kterých jednotlivé proměnné mají různý rozptyl [55].

5.5 Shluková analýza

Shluková analýza (CLU – cluster analysis) identifikuje skupina v datech a pomáhá tak najít skrytou strukturu v datech. Ovšem i když data tvoří souvislou strukturu, shluková analýza v nich hledá strukturu skupin, to znamená, že kontinuum je rozděleno do systému skupin.

Shluková analýza pracuje s asociační maticí podobnosti, resp. se vzdáleností objektů.

Cílem shlukování je zejména popsat strukturu dat a nalézt určité skupiny podobných objektů, tj. shluky.

Existuje několik typů shlukové analýzy, které se liší postupem shlukování:

- hierarchická shluková analýza
 - vytváří systém skupin a podskupin tak, že každá skupina může obsahovat několik podskupin nižšího řádu a sama může být součástí skupiny vyššího řádu; výsledek se dá graficky znázornit stromem – dendrogramem;
- nehierarchická shluková analýza
 - rozdělí objekty do několika shluků stejného řádu [52].

5.6 Vícerozměrné škálování

Vícerozměrné škálování (MDS – MultiDimensional Scaling) je technika vytvoření diagramu relativního umístění objektů v rovině dvojrozměrného grafu na základě dat vzdálenosti mezi objekty, tzv. matice proximity (blízkosti). Diagram může obsahovat jeden, dva, tři a zřídka i více rozměrů, dimenzí [54].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 METODIKA PRÁCE

Cílem diplomové práce bylo stanovit vlhkost, obsah popel, dusíkatých látek a škrobu v pšeničném zrně. Dále zjistit případné vztahy mezi parametry charakterizující technologickou kvalitu zrna a ty statisticky vyhodnotit.

6.1 Charakteristika analyzovaných vzorků

Ke stanovení bylo získáno 150 vzorků z firmy Penam, a. s., jejichž charakteristika nebyla poskytnuta. Ke každému vzorku byly také dodány data následujících parametrů (data nejsou součástí práce): příměsi [%], nečistoty [%], lepek [% v sušině], GI (Gluten index, „lepkový index“ [%]), OH (objemová hmotnost, [kg·hl⁻¹]), ČP (číslo poklesu, [s]), ZT (Zelenyho test, [ml]).

Ze 150 vzorků pšenice muselo být vyřazeno 16 vzorků, jelikož byly u nich nalezeny larvy zřejmě potměníka moučného.

Obsah vlhkosti, škrobu a popele byl stanoven u 67 vzorků, obsah dusíkatých látek u 20 vzorků (hodnoty zbylých vzorků byly získány od fy Penam, a. s.).

6.2 Chemická analýza

6.2.1 Příprava analytického vzorku

Všechny analýzy byly stanovovány ze vzorků upravených následnou metodikou.

Z dobře promíchaného laboratorního vzorku bylo rozemleto (mlýnek na obilí, BOSCH MUZ4GM2) tak, aby částice prošly sítím s otvory o velikosti 0,5 mm, následně promícháno a z toho množství byl navážen zkušební vzorek pro analýzy.

6.2.2 Stanovení obsahu vlhkosti

Stanovení obsahu vlhkosti u všech vzorků byl proveden referenční metodou [43].

Princip

Sušení bylo uskutečněno při teplotě $(130 \pm 3) ^\circ\text{C}$, za podmínek, které odpovídaly absolutní metodě.

Příprava zkušební vzorku

Vzhledem k tomu, že vzorky odpovídaly parametrům uvedených v Tab. 8, již nebyly upravovány dalším mletím.

Tab. 8 Charakteristika velikosti částic produktů (bez mletí)

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

Pracovní 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. Poté 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 laboratorní sušárny (Vental, BMT, a. s.) na (90 ± 5) min. Po vysušení byly misky společně s víky vyjmuty ze sušárny a byly umístěny 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:

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

$m_0 = m'_0 - m_d$ hmotnost zkušební vzorku (g)

$m_1 = m'_1 - m_d$ 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 přesnosti

- opakovatelnost 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.

- 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.

6.2.3 Stanovení obsahu popele

Princip

Vzorek byl zpopelněn při teplotě (900 ± 50) °C, nespálený zbytek byl zvážen.

Pracovní postup

Podle normy ČSN 56 0512-8 [46] byla v peci vyžíhaná a na laboratorní teplotu ochlazená miska zvážena s přesností na 0,0001 g. Do misky byl navážen s přesností na 0,0001 g zkušební vzorek v množství 4 g. Vzorek byl rovnoměrně rozprostřen na dně misky.

Miska se zkušebním vzorkem byla vložena na okraj otevřené muflové pece vyhřáté na teplotu (900 ± 50) °C, kde byl opatrně zuhelněn tak, že se nechal volně hořet slabý plamenem. Po zhasnutí plamene a skončeném vývoji dýmu byla miska pomocí analytických kleští vložena dále do muflové pece. Pec byla uzavřena a vzorek byl spalován při teplotě (900 ± 50) °C tak dlouho, až byly spáleny všechny zuhelnatělé částice (v popelu nesměly být přítomny výrazné černé body). Po dokonalém spálení vzorku byla miska z pece vyjmuta

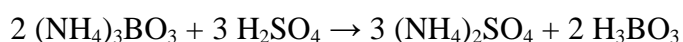
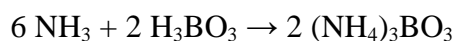
a vložena do exsikátoru, kde byla nechána vychladnout na laboratorní teplotu. Po ochlazení (přibližně po 1 hod) byla miska s popelem zvážena s přesností na 0,0001 g. Vážení muselo probíhat rychle, protože popel snadno přijímá vzdušnou vlhkost.

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

6.2.4 Stanovení dusíkatých látek

Stanovení metodou podle Kjeldahla s úpravou podle Winklera [39]

Z mineralizátu bílkovinného materiálu, připraveného podle Kjeldahla, byl amoniak, uvolněný ze síranu amonného koncentrovaným roztokem NaOH, predestilován s vodní parou v destilačním přístroji do roztoku kyseliny trihydrogenborité. Vzniklý boritan amonný byl stanoven titračně odměrným roztokem kyseliny sírové na indikátor Tashiro.



Z množství spotřebované kyseliny byl vypočítán obsah dusíku. Výsledek byl přepočítán na navážku a vynásobením faktorem 5,7 bylo určeno % dusíkatých látek v analyzovaném materiálu.

Mineralizace vzorku mokrou cestou

Do mineralizační baňky bylo odváženo asi 0,25 g vzorku s přesností 0,0001 g. Ke vzorku bylo v digestoři následně přidáno 10 ml koncentrované H_2SO_4 z dávkovače, 2–4 kapky H_2O_2 a 1 malá lžička směsného katalyzátoru ($\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CuSO}_4$ v poměru 10:1) a baňka byla vložena na topnou desku mineralizátoru Bloc Digest 12 s přídatným zařízením umožňujícím odsávání par vznikajících zplodin (bylo nutné obsadit čtyři rohové pozice). Poté byl zapnut vyhřívací blok, pračka plynů a digestoř. Teplota ohřevu byla nastavena na 400 °C. Po vyhřátí topného zařízení, trvajícím asi půl hodiny, probíhala mineralizace 1 hodinu (řídil nastavený program). Po skončení mineralizace byl vypnut vyhřívací blok a baňky byly přendány do stojanu, pračka byla nechaná zapnuta, dokud baňky nezchladly. Pračka byla složena ze dvou promývaček. V první docházelo k částečné kondenzaci par a v druhé, v níž byl 13 % NaOH, k jejich neutralizaci (roztok NaOH bylo nutné

obměňovat). Po zchladnutí byla do baněk přidána destilovaná voda do objemu 25 ml a před analýzou byl obsah protřepán.

Pracovní postup

Děláno dle metodiky přístroje.

Výpočet:

$$\% \text{ dusíkatých látek} = \frac{P_2}{n} \cdot 100 \cdot F$$

P_2 obsah dusíku (mg);

n navážka (mg);

F přepočítávací faktor (5,7).

Obsah dusíkatých látek byl stanovován u 20 vzorků a to ve třech opakováních a vyjádřen v % (m/m) jako aritmetický průměr a směrodatná odchylka.

6.2.5 Stanovení škrobu

Stanovení škrobnatosti u všech vzorků pšeničné mouky bylo provedeno polarimetricky podle Ewerse [56].

Princip

Ke stanovení škrobu byla použita polarimetrická metoda, která využívá významné vlastnosti sacharidů – optické aktivity, tj. schopnosti stáčet rovinu polarizovaného světla o určitý úhel.

Metoda zahrnuje dva postupy. Nejprve byl vzorek podroben působení zředěné kyseliny chlorovodíkové. Po vyčiření a filtraci byla optická otáčivost roztoku měřena polarimetricky. Rozdíl mezi těmito dvěma měřeními násobený známým faktorem udává obsah škrobu ve vzorku (faktor pro pšenici 182,7°).

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

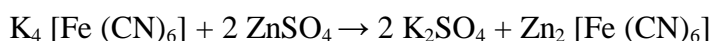
univerzálními konstantami, nýbrž se vztahují k určitému rozpouštědлу. Vliv rozpouštědla může způsobit u těže látky změnu znaménka otáčení. Úhel otočení polarizovaného světla se měří na polarimetrech. Běžně se provádí při vlnové délce 589,3 nm a teplotě 20 °C.

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

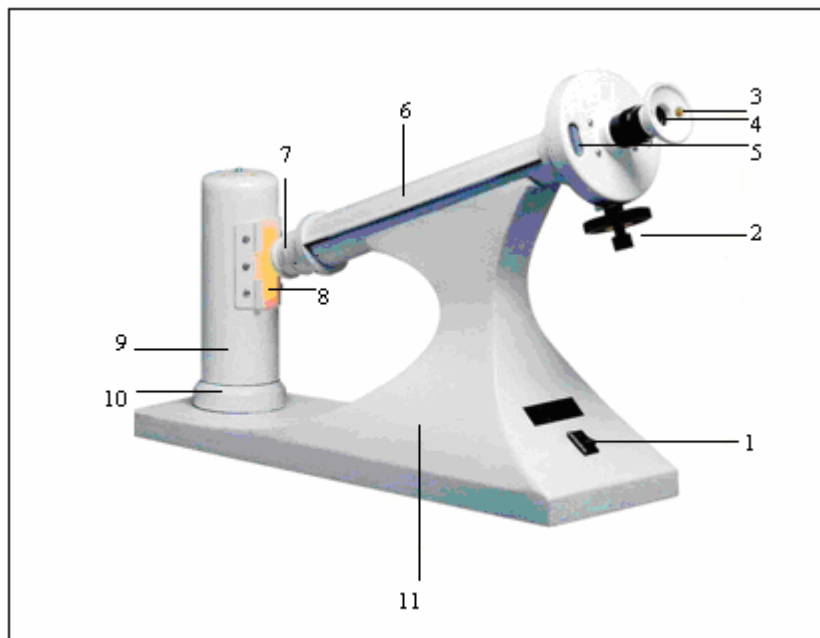
Carrez II: 15 hmot. % $\text{K}_4 [\text{Fe} (\text{CN})_6]$



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

Pracovní postup

Do 100 ml odměrné baňky bylo naváženo 5 g mouky (3x pro každý vzorek), poté bylo přidáno 25 ml roztoku HCl o složení 1,124 %. Obsah baňky byl krouživým pohybem důkladně promíchán a stěny spláchnuty dalšími 25 ml roztoku HCl. Následně byla baňka vložena do vroucí vodní lázně a zahřívána přesně 15 min. Během prvních 3 minut byla baňka promíchávána za stálého ponoření ve vodní lázni. Po 15 min byla baňka vyjmuta z vodní lázně, přidáno dalších 20 ml roztoku kyseliny chlorovodíkové a obsah v baňce ochlazen. Pak se provedlo vyčiření podle Carreze. Při čiření byl nejprve přidán 1 ml Carrez I., obsah důkladně promíchán a pak se přidal 1 ml Carrez II. a opět promícháno. Po 5 min působení byla baňka doplněna po značku destilovanou vodou a roztok se zfiltraval. První podíly filtrátu byly vráceny zpět na filtr. U čirého filtrátu byl měřen na polarimetru (Obr. 17) úhel otočení α při teplotě 20 °C.



Obr. 17 Popis polarimetrického přístroje [57]

1-vypínač, 2-nastavovací kotouč, 3-odečítací lupá,
4-okulár, 5-stupnice a nonius, 6-prostor pro kyvetu
se vzorkem (lůžko), 7-polarizátor, 8-skelněný filtr,
9-kryt lampy, 10-objímka lampy, 11-plášť polarimetru.

Výpočet

Obsah škrobu v % (m/m):

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

l..... tloušťka vrstvy (délka polarimetrické trubice) (dm);

n..... navážka (g);

$[\alpha]_{\lambda}^t$ specifická otáčivost při teplotě t a vlnové délce ($^{\circ}$).

Obsah škrobu v analyzovaném vzorku byl stanoven ze vztahu (hmot. %):

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

n..... navážka (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 [58], STATISTICA CZ, verze 9 [59]. 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 Chemická analýza

7.1.1 Stanovení vlhkosti

Obsah vlhkosti byl stanovován vážkově jako úbytek po vysušení za předepsaných podmínek (viz kapitola 6.1.2) a je uveden příloze PI.

Průměrná vlhkost v pšeničném zrně byla 13,1 %. Nejmenší vlhkost měl vzorek č. 31 a to 10,2 %. Největší vlhkost měl vzorek č. 25 a to 16,9 %. Vlhkost u pšeničného zrna by měla dosahovat nejvýše 14,0 % [47]. Vlhkost mohla být ovlivněna procesem mletí a podmínkami skladování vzorků.

7.1.2 Stanovení obsahu popele

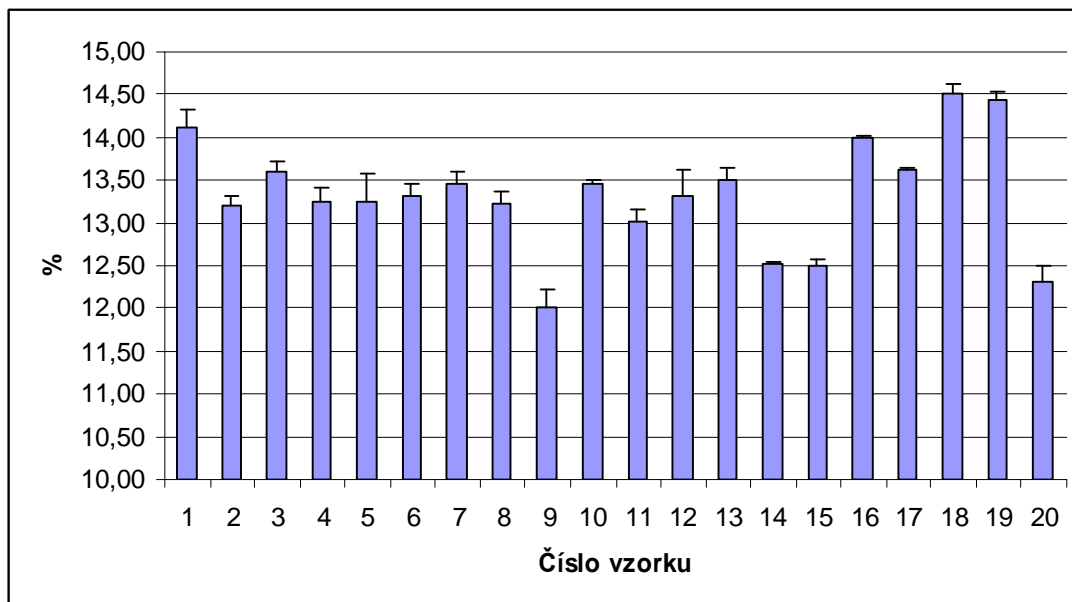
Průměrný obsah popele byl 1,8 %. Nejmenší obsah popele měl vzorek č. 24 a to 1,6 % a největší obsah popele měl vzorek č. 14 (3,8 %).

Výsledky stanovení obsahu popele u 67 vzorků jsou uvedeny v příloze PI.

7.1.3 Stanovení obsahu dusíkatých látek

Celkový obsah dusíku bylo stanoveno Kjeldahlovou metodou s úpravou dle Winklera s použitím automatické destilační jednotky Pro-Nitro (viz kapitola 6.1.4).

Průměrný obsah dusíkatých látek byl 13,3 % (viz příloha PI). Nejmenší obsah N-látek měl vzorek č. 9 a to 12,0 % a největší obsah N-látek měl vzorek č. 18 (14,5 %). Grafické znázornění obsahu dusíkatých látek představuje Obr. 18.



Obr. 18 Obsah dusíkatých látek v příslušných vzorcích

7.1.4 Stanovení obsahu škrobu

Stanovení škrobnatosti mouky bylo provedeno polarimetricky podle Ewarse (viz kapitola 6.1.5).

Průměrný obsah škrobu byl 70,0 % (viz příloha PI). Nejmenší obsah škrobu měl vzorek č. 67 a to 55,7 % a největší obsah škrobu vzorek č. 9 (76,6 %). Podle [13] by měl být obsah škrobu v pšenici 59 – 72 %. Průměrná hodnota tento požadavek splňuje. Ale např. u vzorku č. 9, který tento požadavek nesplňuje svou vysokou hodnotou, se mohlo jednat o pšenici s dobrou odrůdovou vlastností pro produkci škrobu.

U stanovení škrobu byla provedena analýza rozptylu (ANOVA).

Tab. 7 Test významnosti faktoru druhu mouky na obsah škrobu

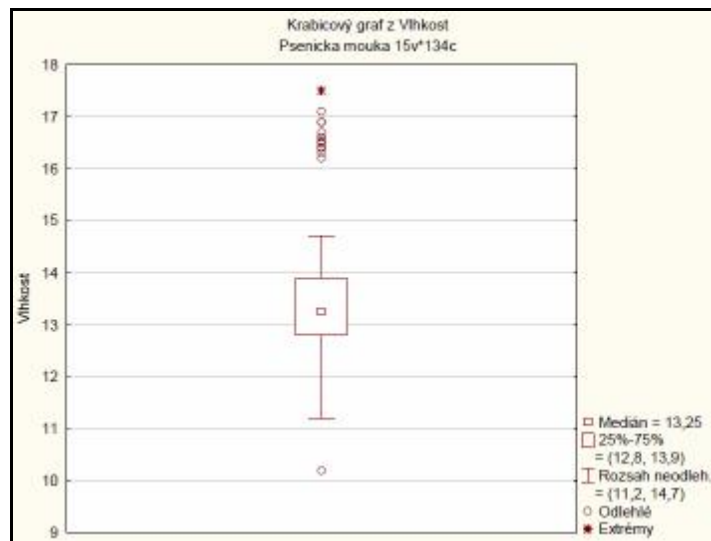
Kritická hodnota	Spočtená hodnota	Pravděpodobnost	Závěr
1,339294	108,6345	0,0000	ANO

Dle analýzy rozptylu (ANOVA, Tab. 7) bylo potvrzeno, že druh mouky ovlivňuje obsah škrobu. Podmínky pěstování (hnojení dusíkatými hnojivy, max. dávka dusíku $80 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$), výběr vhodné odrůdy (dle odrůdových vlastností viz tab. 2) a doba sklizně (ke konci žluté zralosti) může ovlivnit obsah škrobu v mouce.

7.2 Statistické vyhodnocení dat

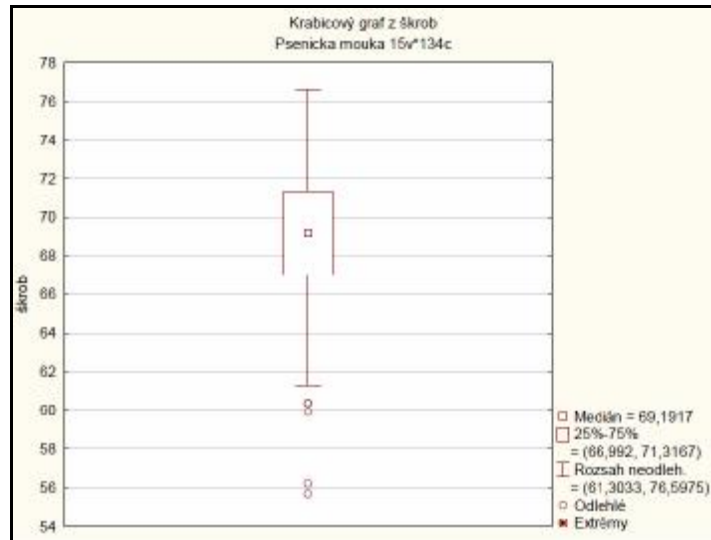
7.2.1 Krabicové grafy

Krabicové grafy jsou výhodné k zobrazení odlehlých bodů a zobrazují proměnlivost každého znaku. Extrémy, které zkreslovaly výsledky analýzy, bylo nutné z výběru odstranit a podle uvážení také odlehlé body. Celkem bylo z analýzy odstraněno 13 vzorků.



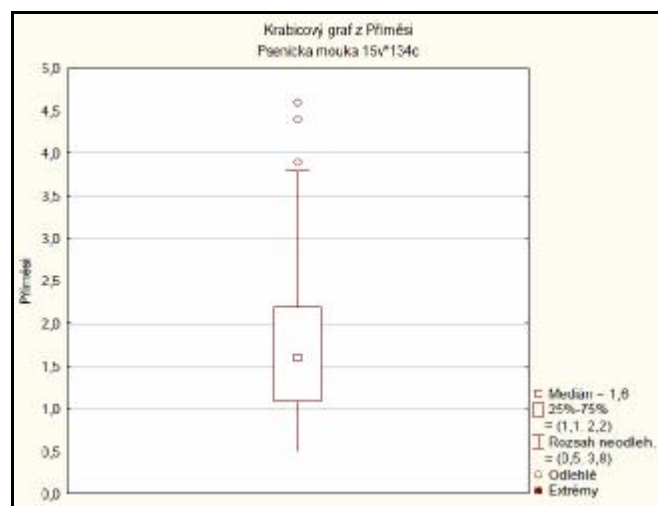
Obr. 19 Krabicový graf parametru VLHKOST

Extrémní bod (vzorek č. 95) obsahující nejvyšší hodnotu obsahu vlhkosti, byl z výběru odstraněn. Odlehlé body (vzorky č.: 24, 68 a 82) překročily svojí hodnotou mezní stav a byly z výběru odstraněny. Zbylé odlehlé body (vzorky č.: 31, 71, 72, 73, 75, 79, 80, 84, 89, 93 a 96) byly ve výběru ponechány (Obr. 19).



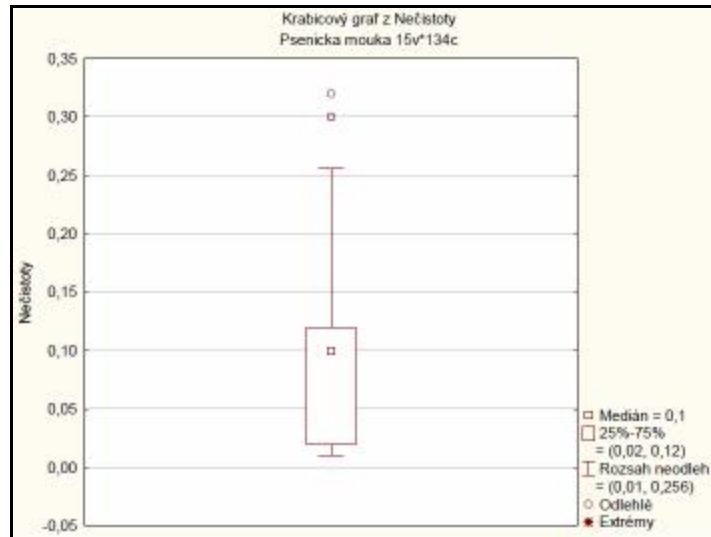
Obr. 20 Krabicový graf parametru ŠKROB

Z Obr. 20 vyplývá, že vzorky č. 67 a 68, obsahující nejmenší obsah škrobu, byly vyhodnoceny jako odlehlé body v mezním stavu a byly z výběru odstraněny. Odlehlé body (vzorky č.: 7, 70 a 92) byly ve výběru ponechány, jelikož jejich hodnota se nacházela v blízkosti mezní hranice a u ostatních parametrů tyto vzorky výkyvy nevykazovaly.



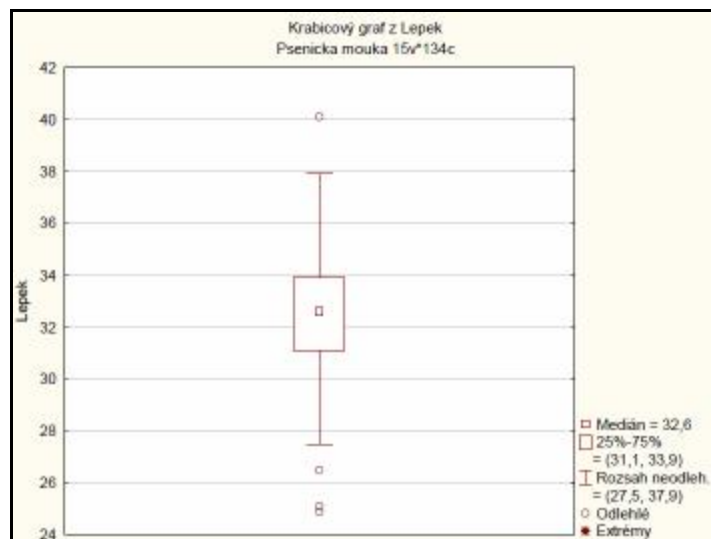
Obr. 21 Krabicový graf parametru PŘÍMĚSI

Vzorky č. 2, 5 a 19 obsahovaly vysoké hodnoty parametru příměsí a byly označeny jako odlehlé body. Vzorek č. 19 byl z výběru odstraněn a odlehlé body (vzorky č. 2 a 5) byly ve výběru ponechány, jelikož jejich hodnota se nacházela v blízkosti mezní hranice (Obr. 21).



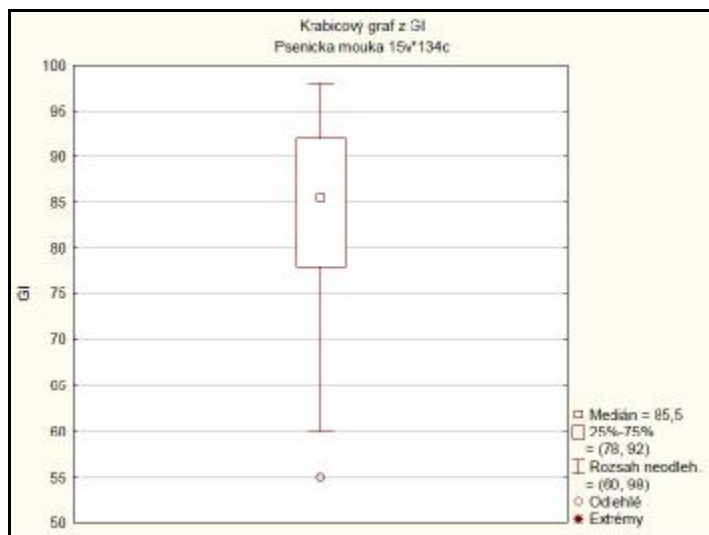
Obr. 22 Krabicový graf parametru NEČISTOTY

Vzorky č. 2, 11 a 12 obsahovaly velké množství nečistoty a byly označeny jako odlehlé body. Vzorek č. 12, obsahující největší množství nečistot, byl z výběru odstraněn. Odlehlé body (vzorky č. 2 a 11) byly ve výběru ponechány, jelikož jejich hodnota se nacházela v blízkosti mezní hranice (Obr. 22).



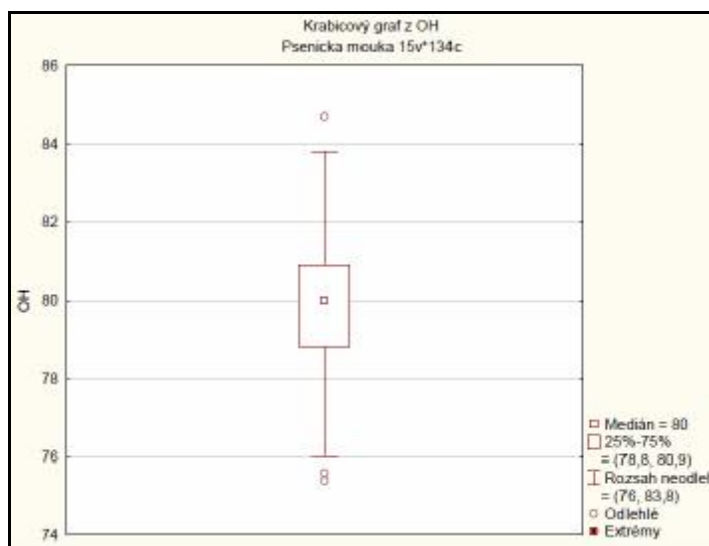
Obr. 23 Krabicový graf parametru LEPEK

Vzorky č. 47 a 88 obsahující nejmenší množství lepku a vzorek č. 127 obsahující největší množství lepku byly vyhodnoceny jako mezní a z výběru byly odstraněny. Odlehlý bod (vzorek č. 76) vykazoval menší množství lepku, i přesto byl ve výběru ponechán (Obr. 23).



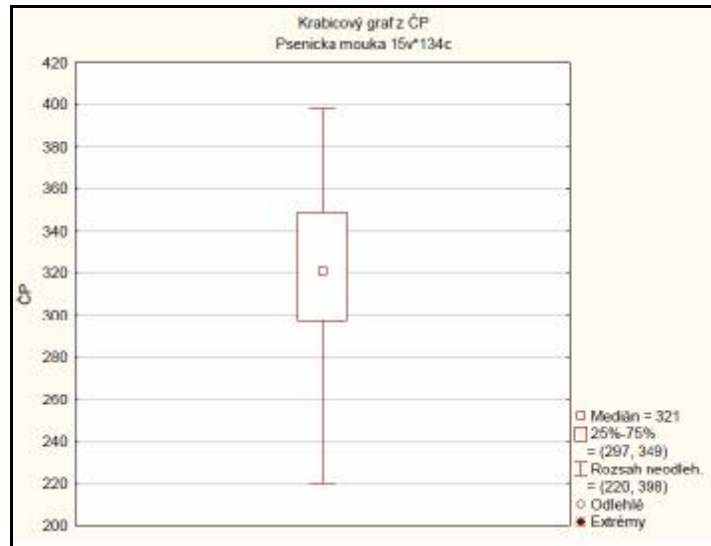
Obr. 24 Krabicový graf parametru GI

Z Obr. 24 vyplývá, že odlehlé body (vzorky č. 14 a 97) obsahovaly velmi málo gluteninů (nízký GI), proto byly vyhodnoceny jako mezní a byly z výběru odstraněny.



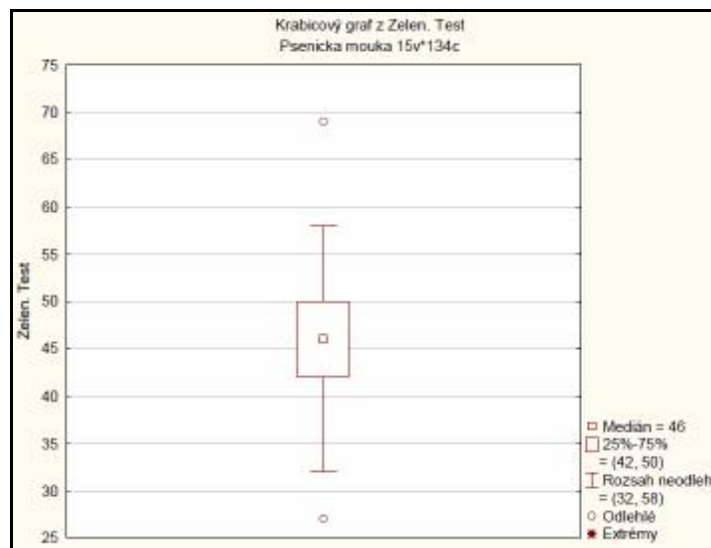
Obr. 25 Krabicový graf parametru OH

Vzorky č. 82 a 95 vykazující nejmenší objemovou hmotnost a vzorek č. 127 s největší objemovou hmotností, byly označeny jako mezní stavy (Obr. 25). Tyto objekty byly odstraněny z výběru.



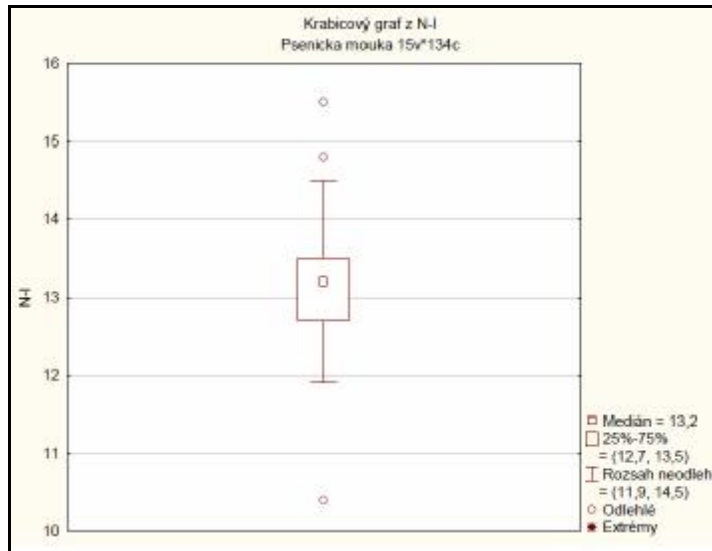
Obr. 26 Krabicový graf parametru ČP

Z Obr. 26 vyplývá, že všechny vzorky vykazovaly číslo poklesu, vyjadřující aktivitu amylolytických enzymů, v optimální rozmezí a žádný bod nebyl proto označen jako odlehlý či extrémní.



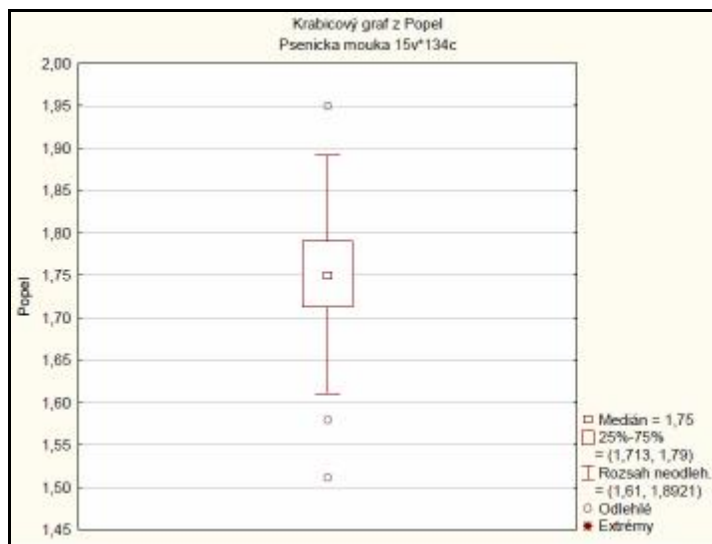
Obr. 27 Krabicový graf parametru ZELENYHO TEST

Odlehlý bod (vzorek č. 47) vykazující nejmenší hodnotu Zelenyho testu a odlehlý bod (vzorek č. 127) největší hodnotu Zelenyho testu, byly vyhodnoceny jako mezní stavy a z výběru byly odstraněny (Obr. 27).



Obr. 28 Krabicový graf parametru N-látky

Vzorky č. 24 a 127 vykazující největší obsah N-látek a vzorek č. 88 s nejmenším obsahem N-látek, byly označeny jako mezní stavy (Obr. 28). Tyto objekty byly odstraněny z výběru.



Obr. 29 Krabicový graf parametru POPEL

Odlehlé body (vzorky č. 12 a 68) vykazovaly nejmenší množství popele a odlehlý bod (vzorek č. 53) vykazující největší množství popele, byly vyhodnoceny jako mezní stavy a z výběru byly odstraněny.

7.2.2 Základní popisné statistiky

Množství platných objektů příslušných znaků, které jsou zahrnuty do modelu, popisuje Tab. 8.

Tab. 8 Popisné statistiky

Proměnná	Popisné statistiky (Psenicka mouka)					
	N platných	Průměr	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch.
škrob	121	69,1804	59,9317	76,5975	10,569	3,25100
Vlhkost	121	13,4357	10,2000	16,9000	1,345	1,15960
Příměsi	121	1,7531	0,5000	4,4000	0,639	0,79936
Nečistoty	121	0,0881	0,0100	0,3000	0,005	0,07396
Lepek	121	32,4331	26,5000	37,9000	5,627	2,37221
GI	121	84,0992	60,0000	98,0000	99,023	9,95105
OH	121	79,8471	76,0000	83,8000	2,621	1,61901
ČP	121	322,3719	220,0000	398,0000	1382,869	37,18694
Zelen. Test	121	45,9835	32,0000	58,0000	29,050	5,38978
N-I	121	13,1165	11,9000	14,5000	0,308	0,55473
Popel	121	1,7543	1,6100	1,8921	0,002	0,04831

Tabulka uvádí pro každý znak jeho průměrnou hodnotu, minimální hodnotu, maximální hodnotu, rozptyl a směrodatnou odchylku.

Po odstranění odlehlých a extrémních bodů bylo k této analýze použito 121 vzorků, u kterých byla provedena korelace.

Tab. 9 Korelační matice znaků

Proměnná	Korelace (Psenicka mouka)							
	Průměry	Sm.odch.	škrob	Vlhkost	Příměsi	Nečistoty	Lepek	GI
škrob	69,1804	3,25100	1,000000	-0,140947	<i>0,337263</i>	<i>0,296251</i>	-0,129354	0,018598
Vlhkost	13,4357	1,15960	-0,140947	1,000000	<i>-0,288602</i>	<i>-0,229805</i>	0,099192	<i>0,246530</i>
Příměsi	1,7531	0,79936	<i>0,337263</i>	<i>-0,288602</i>	1,000000	<i>0,543012</i>	<i>-0,179911</i>	-0,028707
Nečistoty	0,0881	0,07396	<i>0,296251</i>	<i>-0,229805</i>	<i>0,543012</i>	1,000000	-0,010230	-0,143150
Lepek	32,4331	2,37221	-0,129354	0,099192	<i>-0,179911</i>	-0,010230	1,000000	<i>-0,553671</i>
GI	84,0992	9,95105	0,018598	<i>0,246530</i>	-0,028707	-0,143150	<i>-0,553671</i>	1,000000
OH	79,8471	1,61901	<i>0,213135</i>	<i>-0,530680</i>	<i>0,180359</i>	<i>0,228952</i>	0,006252	-0,050517
ČP	322,3719	37,18694	-0,014927	0,000965	0,119809	0,154203	0,000644	0,177196
Zelen. Test	45,9835	5,38978	-0,118010	<i>0,297670</i>	-0,105629	0,032988	<i>0,394103</i>	-0,131416
N-I	13,1165	0,55473	<i>-0,203464</i>	0,094396	<i>-0,178820</i>	-0,156208	<i>0,621255</i>	-0,131637
Popel	1,7543	0,04831	0,130086	-0,037347	0,060409	0,028615	-0,039885	-0,018207

Korelační matice všech znaků je uvedena v Tab. 9. Červeně jsou zvýrazněny statisticky významné korelace na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

Jak lze pozorovat z Tab. 9 existuje vzájemná pozitivní korelace mezi parametrem škrobu a příměsemi, nečistotou a objemovou hmotností. Množství nečistot a příměsi může ovlivnit kvalitu škrobu, a čím je přítomno větší množství nečistot a příměsi, tím méně prostoru zbývá pro jiné látky. Negativní korelace byla zaznamenána mezi škrobem a N-látkami, i když hodnota mezi těmito parametry není příliš vysoká.

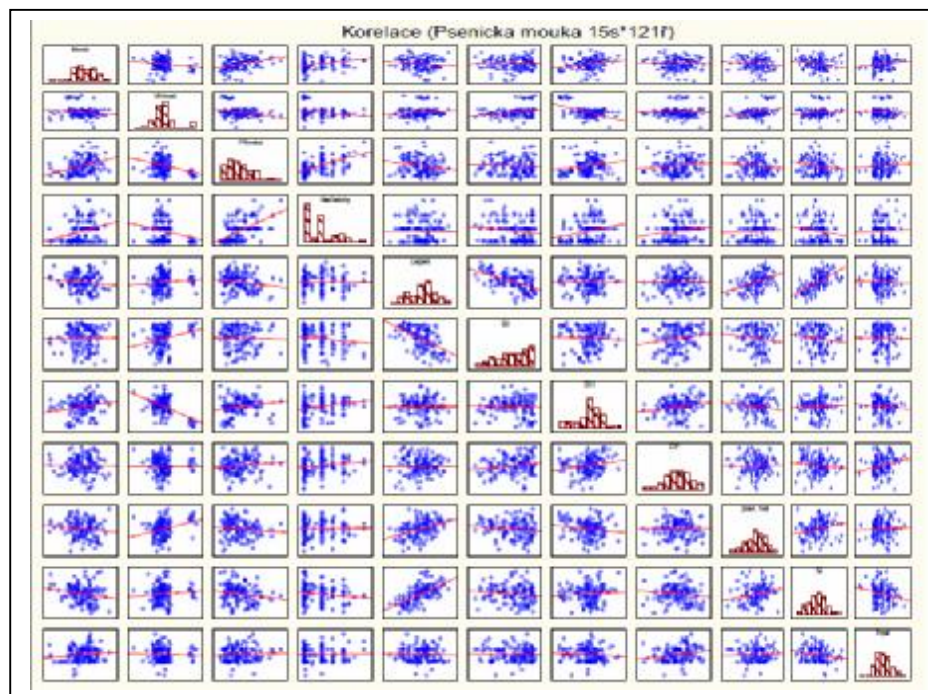
Vlhkost negativně koreluje s parametrem příměsí, nečistoty a objemovou hmotností, přičemž významná korelace je zejména mezi vlhkostí a objemovou hmotností.

Významnou pozitivní korelaci projevuje parametr příměsí a nečistot, jsou to parametry, které spolu logicky souvisejí. Jelikož se jedná o parametry sobě si velmi blízké. Příměsí např. představují zrna základních druhů obilovin s odlišnou jakostí a nečistoty zastupují např. účelově nepoužitelné nebo nežádoucí složky v příslušném druhu obilovin včetně mrtvých škůdců či cizorodé látky. Oba tyto parametry nejsou v pšeničné mouce žádoucí.

Vysokou pozitivní korelaci vykazuje parametr lepek s N-látkami. Jsou to parametry, které spolu úzce souvisejí, protože lepek je dusíkatá látka (bílkovina). Množství lepku může do značné míry ovlivnit jakost těsta i pečivařského výrobku.

7.2.3 Grafické zobrazení vícerozměrných dat

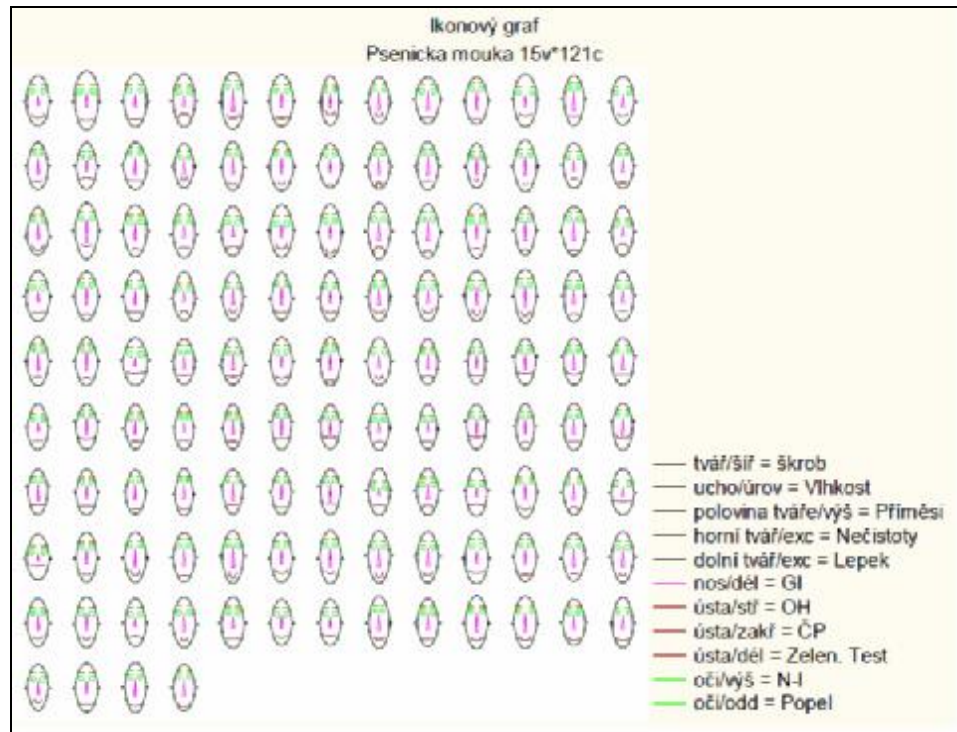
Pro přehlednější podobu korelační matice byl použit maticový graf korelace znaků. Tento graf byl sestaven z rozptylových grafů pro všechny párové kombinace znaků (Obr. 30).



Obr. 30 Korelace

Z Obr. 30 lze vyčíst, že vyšší hodnoty korelačního koeficientu (cca 0,9999) byly v rozptylovém grafu zřetelně poznatelné seskupením objektů do přímky, naopak nižší korelační koeficient vedly k rozmístnění objektů do mraku bodů (cca 0,111).

Pomocí symbolových grafů (Obr. 31) lze dále zkoumat podobnost těchto objektů



Obr. 31 Ikonový graf – Chemoffovy tváře

Tento graf identifikuje podobnost objektů (parametrů) a to podle přibližně stejného tvaru tváře. Jednotlivé části tváře znázorňují určitý parametr. Tváře vykazující podobnost mají přibližně podobné hodnoty příslušných parametrů.

Dvojice vzorků (vzorek č. 1 a č. 58; vzorek č. 48 a č. 100; vzorek č. 63 a č. 64) vykazují podobnost tváří, proto by měly mít podobné hodnoty příslušných parametrů.

7.2.4 Analýza hlavních komponent

Pomocí metody PCA byly analyzovány vztahy a struktury mezi znaky a objekty. Cílem této metody bylo 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.

7.2.4.1 Redukce znaků

Nejprve bylo analýzou hlavních komponent vyšetřeno, zda lze redukovat počet znaků zahrnutých do modelu.

Vyšetření Cattelova indexového grafu úpatí vlastních čísel

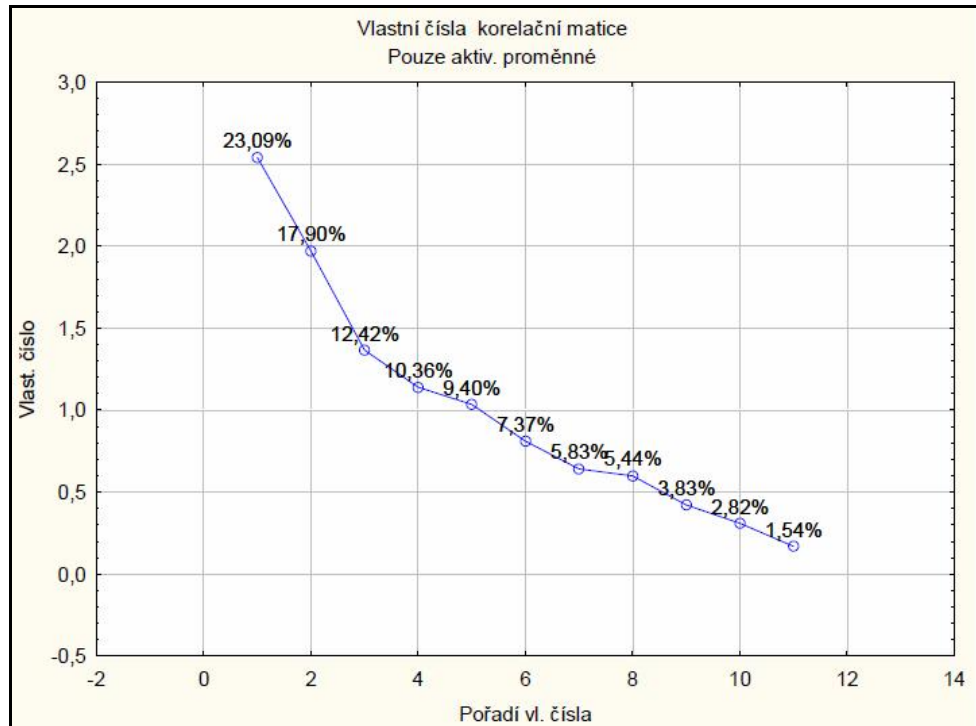
Tab. 10 ukazuje tabelární podobu Cattelova indexového grafu úpatí vlastních čísel. Tabulka obsahuje procento celkového rozptylu, kumulativní vlastní číslo a kumulativní procento. Kumulativní procento popisuje proměnlivost v původních znacích, které vystihuje příslušná hlavní komponenta.

Tab. 10 Vlastní čísla

Pořadí vl.č.	Vlastní čísla korelační matice a související statistiky (Psenicka mouka) Pouze aktiv. proměnné			
	vl. číslo	% celk. rozptylu	Kumulativ. vl. číslo	Kumulativ. %
1	2,539939	23,09035	2,53994	23,0904
2	1,968851	17,89865	4,50879	40,9890
3	1,365664	12,41513	5,87445	53,4041
4	1,139066	10,35515	7,01352	63,7593
5	1,034165	9,40150	8,04768	73,1608
6	0,810475	7,36796	8,85816	80,5287
7	0,641201	5,82910	9,49936	86,3578
8	0,598943	5,44494	10,09830	91,8028
9	0,421839	3,83490	10,52014	95,6377
10	0,310139	2,81945	10,83028	98,4571
11	0,169717	1,54288	11,00000	100,0000

Dle Kaiserova kritéria jsou vybíraný pouze hlavní komponenty dosahující vlastní číslo λ_i větší nebo rovné 1. První tři latentní proměnné popisují 53,41 % z celkové proměnlivosti dat, první čtyři pokrývají 63,77 % proměnlivosti.

Důležitým kritériem je Cattelův indexový graf úpatí vlastních čísel. Na ose x jsou vyneseny indexy jednotlivých latentních proměnných a osa y představuje vlastní čísla λ . Každý index hlavní komponenty je označen individuálním procentem, který objasňuje dotyčná hlavní komponenta. Na základě grafu se určuje zlomové místo mezi svislou stěnou a vodorovným dnem.



Obr. 32 Sutinový graf

Z Obr. 32 vyplývá, že grafická analýza indikuje první zlom u indexu 3. Proto budou pro analýzu vybrány první tři hlavní komponenty, které objasňují 53,41 % z celkového rozptylu.

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 porovnávají vzájemné vzdálenosti a úhel mezi průvodiči:

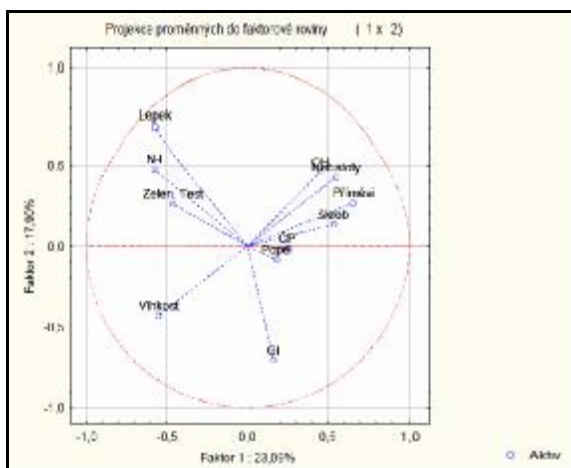
- krátká vzdálenost nebo malý úhel mezi průvodiči
 - mezi dvěma znaky značí vysokou pozitivní korelaci; je možné nalézt i shluk podobných znaků, které kladně korelují;
- velká vzdálenost nebo velký úhel mezi průvodiči

- mezi dvěma znaky indikuje vysokou negativní korelaci; lze nalézt i shluk podobných znaků, které jsou nepodobné jinému shluku, neboli shluky jsou v záporné korelaci;
- pravý úhel mezi průvodiči
 - je-li úhel mezi průvodiči dvou znaků 90° , není mezi nimi žádná korelace.

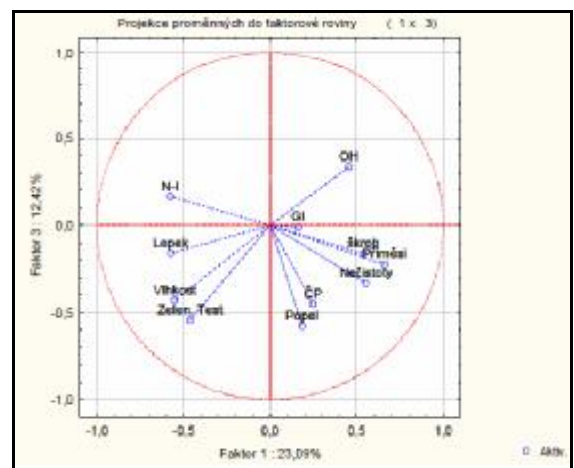
Souřadnice hlavních komponent jednotlivých znaků představují korelační koeficient mezi znakem a příslušnou hlavní komponentou.

Důležitost původních znaků se hodnotí dle umístění v grafu komponentních zátěží:

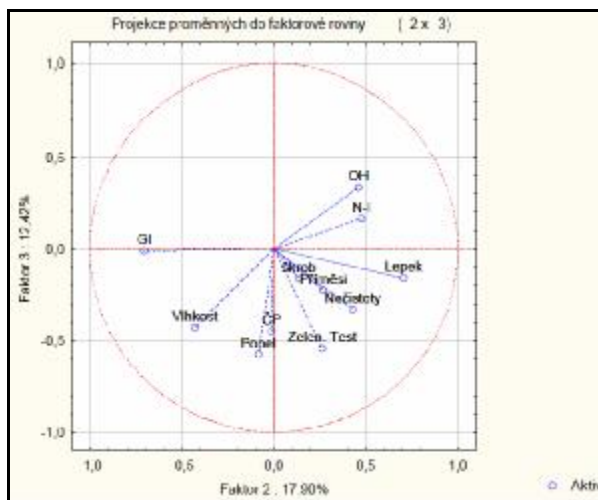
- dlouhý průvodič nebo velká vzdálenost znaku od počátku
 - znaky, které jsou pro analýzu důležité, jelikož mají vysokou variabilitou;
- krátký průvodič nebo malá vzdálenost znaku od počátku
 - znaky, které nejsou pro analýzu důležité, jelikož mají malou variabilitu; tyto znaky je možné z modelu odstranit.



Obr. 33 Graf komponentních zátěží PC1 a PC2



Obr. 34 Graf komponentních zátěží PC1 a PC3



Obr. 35 Graf komponentních zátěží PC2 a PC3

Vyšetření pro možné redukování počtu znaků:

Nejdůležitějším grafem komponentních zátěží (Obr. 33–35) je graf komponentních zátěží PC1 a PC2 (Obr. 33), který vystihuje největší část proměnlivosti.

Z Obr. 33 vyplývá, že znaky (parametry) **nečistoty a lepek** spolu nekorelují, jelikož úhel mezi průvodiči těchto dvou parametru dosahuje 90°. Podobně tomu je i u parametrů **lepek a vlhkost**; a **GI a příměsí**.

Vysoká kladná korelace byla zaznamenána mezi parametry **OH, nečistoty, příměsí a škrobem**, protože jejich průvodiče svírají malý úhel a vzdálenost průvodičů je také malá. Tato kladná korelace byla potvrzena i základní popisnou statistikou.

Další vysoká kladná korelace byla zaznamenána mezi parametry **Zeleného test a N-látky**, taktéž jejich průvodiče svírají malý úhel a vzdálenost průvodičů je malá.

Parametr **lepek** má vysokou variabilitu pro jeho velkou vzdálenost od počátku a proto je důležitý pro analýzu.

Parametry **popel** a **číslo poklesu** mají krátké průvodiče a pro analýzu nejsou důležité, proto byly z modelu hlavních komponent vypuštěny.

7.2.4.2 Hledání vazeb a struktury ve znacích a objektech

Odstraněním znaků popel a číslo poklesu (ČP) došlo k redukcí proměnných zahrnutých do modelu hlavních komponent z 11 na 9. Proto bylo nutné provést výpočet modelu znovu, neboť bylo třeba analyzovat výběr bez rozptylu znaků popel a ČP. Metoda hlavních

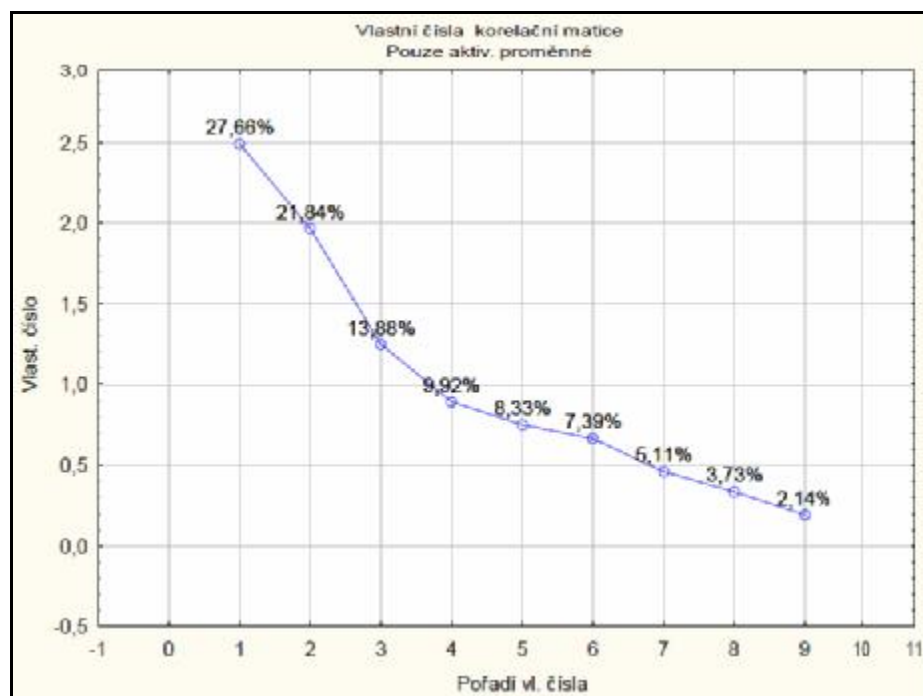
komponent je závislá na rozptylu všech znaků použitých k výpočtu modelu. Odstraněním znaků došlo k vyčíslení odlišných vlastních čísel, komponentních vah a komponentního skóre.

Vyšetření Cattelova indexového grafu úpatí vlastních čísel

K určení počtu využitých hlavních komponent byla použita vlastní čísla, graficky vyjádřena v Cattelově indexovém grafu úpatí vlastních čísel. Jeho tabelární podobou je Tab. 11.

Tab. 11 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	2,489619	27,66244	2,489619	27,6624
2	1,965514	21,83904	4,455133	49,5015
3	1,248792	13,87546	5,703924	63,3769
4	0,893107	9,92341	6,597032	73,3004
5	0,750109	8,33454	7,347140	81,6349
6	0,665060	7,38955	8,012200	89,0244
7	0,459667	5,10742	8,471867	94,1319
8	0,335380	3,72645	8,807248	97,8583
9	0,192752	2,14169	9,000000	100,0000



Obr. 36 Cattelův indexový graf úpatí vlastních čísel

Na základě grafu na Obr. 36 lze pozorovat první zlom u indexu 3. K analyzování byly tedy vybrány při hlavní komponenty, které vystihují 63,38 % proměnlivosti.

Výpočet vlastních vektorů pro hlavní komponenty

Vektory jsou koeficienty rovnice, které umožňují kombinovat předem normované znaky. Koeficienty se nazývají komponentní váhy (vlastní vektory) a popisují relativní důležitost každého znaku vzhledem k hlavní komponentě (Tab. 12).

Tab. 12 Vlastní vektory

Proměnná	Vlastní vektory korelační matice Pouze aktiv. proměnné		
	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
škrob	0,346191	0,096025	0,266152
Vlhkost	-0,365860	-0,297044	0,458399
Příměsi	0,418425	0,185753	0,351585
Nečistoty	0,346929	0,301599	0,427913
Lepek	-0,368749	0,512828	0,039722
GI	0,088238	-0,508498	0,023755
OH	0,291849	0,316216	-0,412948
Zelen. Test	-0,311162	0,201387	0,462317
N-I	-0,353695	0,339067	-0,160955

Důležitost znaků vzhledem k příslušné hlavní komponentě:

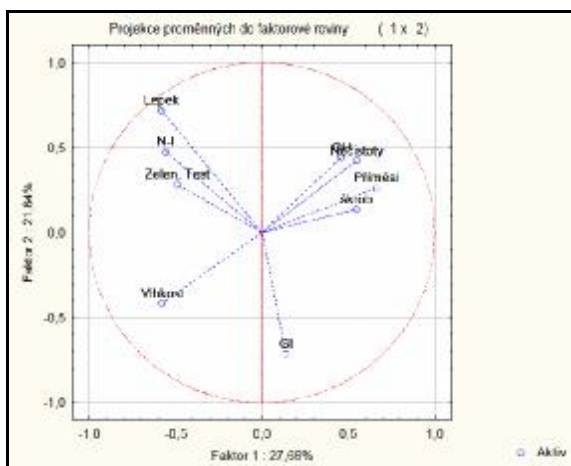
- první hlavní komponenta – nejdůležitějším je znak lepek se zápornou vahou;
- druhá hlavní komponenta – nejdůležitějším znakem je opět znak lepek s kladnou, komponentní vahou;
- třetí hlavní komponenta – nejdůležitějším je znak OH se zápornou komponentní vahou.

Vyšetření grafu komponentních zátěží

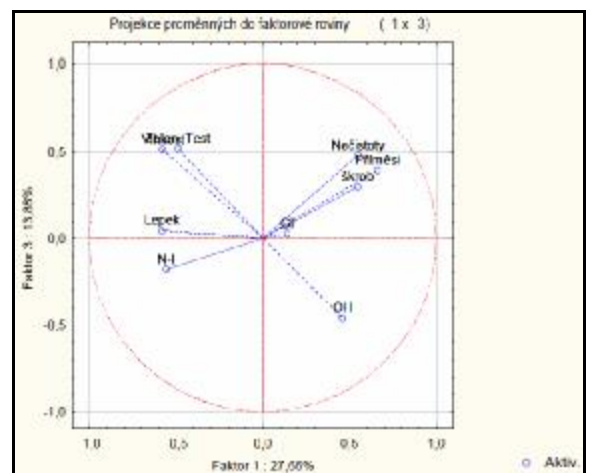
Tabelární podoba grafu komponentních zátěží (Obr. 37–39) popisuje číselné hodnoty korelaci mezi původními znaky a hlavními komponentami (Tab. 13). Korelace jsou zároveň souřadnicemi znaků.

Tab. 13 Komponentní zátěže

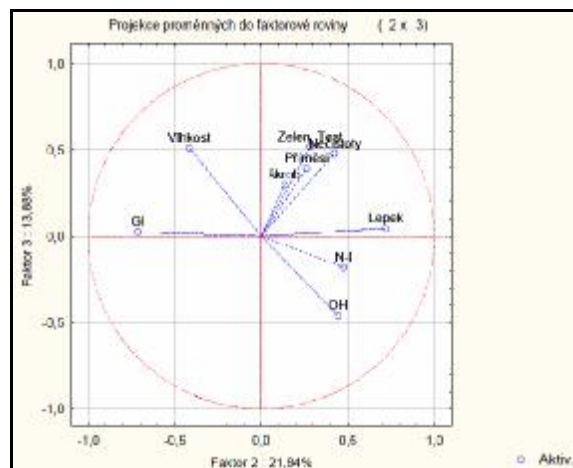
Proměnná	Faktorové souřadnice proměnných podle korelací		
	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
škrob	0,546238	0,134624	0,297424
Vlhkost	-0,577273	-0,416445	0,512258
Příměsi	0,660213	0,260420	0,392894
Nečistoty	0,547402	0,422832	0,478190
Lepek	-0,581831	0,718968	0,044389
GI	0,139227	-0,712898	0,026546
OH	0,460495	0,443324	-0,461467
Zelen. Test	-0,490968	0,282338	0,516637
N-I	-0,558079	0,475361	-0,179866



Obr. 37 Graf komponentních zátěží PC1 a PC2



Obr. 38 Graf komponentních zátěží PC1 a PC3



Obr. 39 Graf komponentních zátěží PC2 a PC3

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

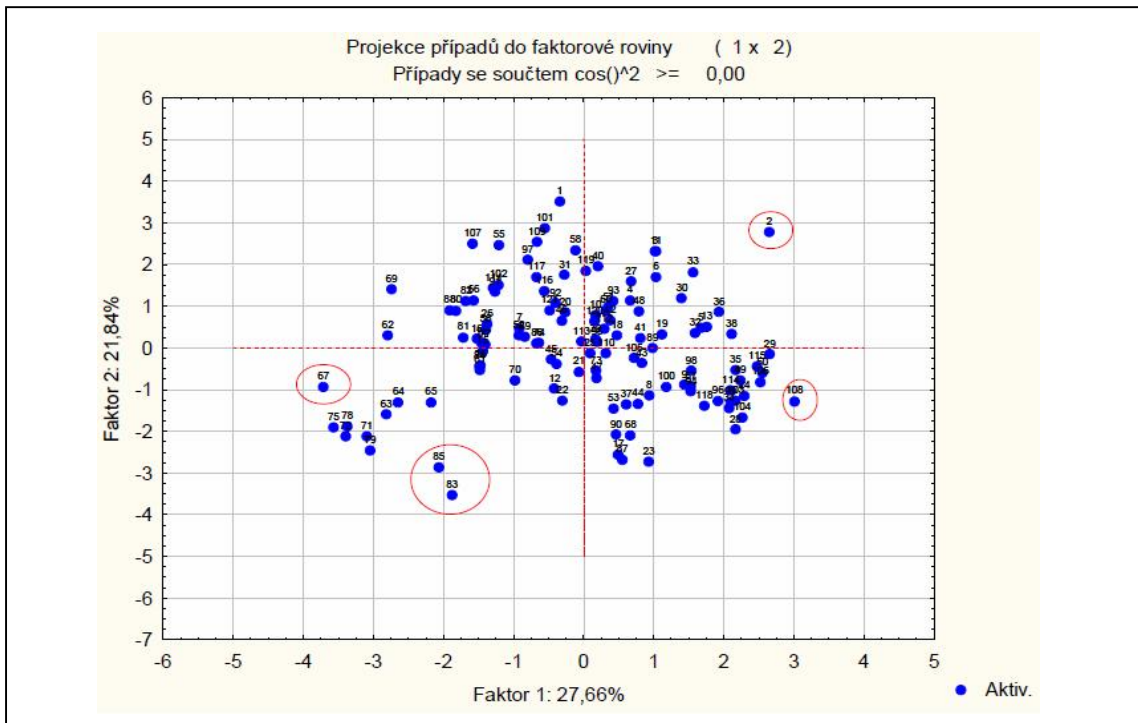
Z grafu na Obr. 37 lze vyčíst, že **OH, nečistoty, příměsi a škrob** jsou vzájemně kladně korelované a **lepek, N-látky a Zelenyho test** jsou vzájemně pozitivně korelované, ale zároveň jsou negativně korelované s předešlým shlukem znaků. Mezi parametry **lepek a vlhkost, příměsi a GI** nebyla zjištěná korelace žádná, protože svírají pravý úhel.

Vyšetření rozptylového diagramu komponentního skóre

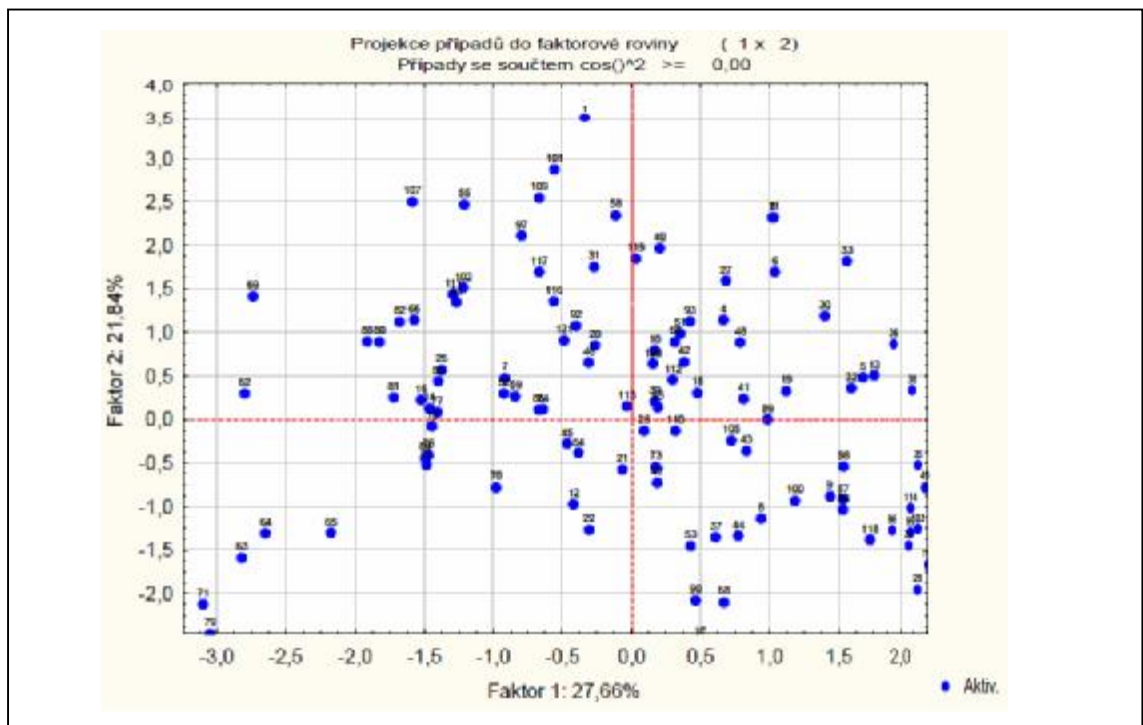
Souřadnice každého objektu na osách hlavních komponent jsou nazvány skóre. Vyšetřením diagramu lze nalézt shluky vzájemně podobných objektů, odlehlé objekty a extrémny.

Diagnostika rozptylového diagramu se týká:

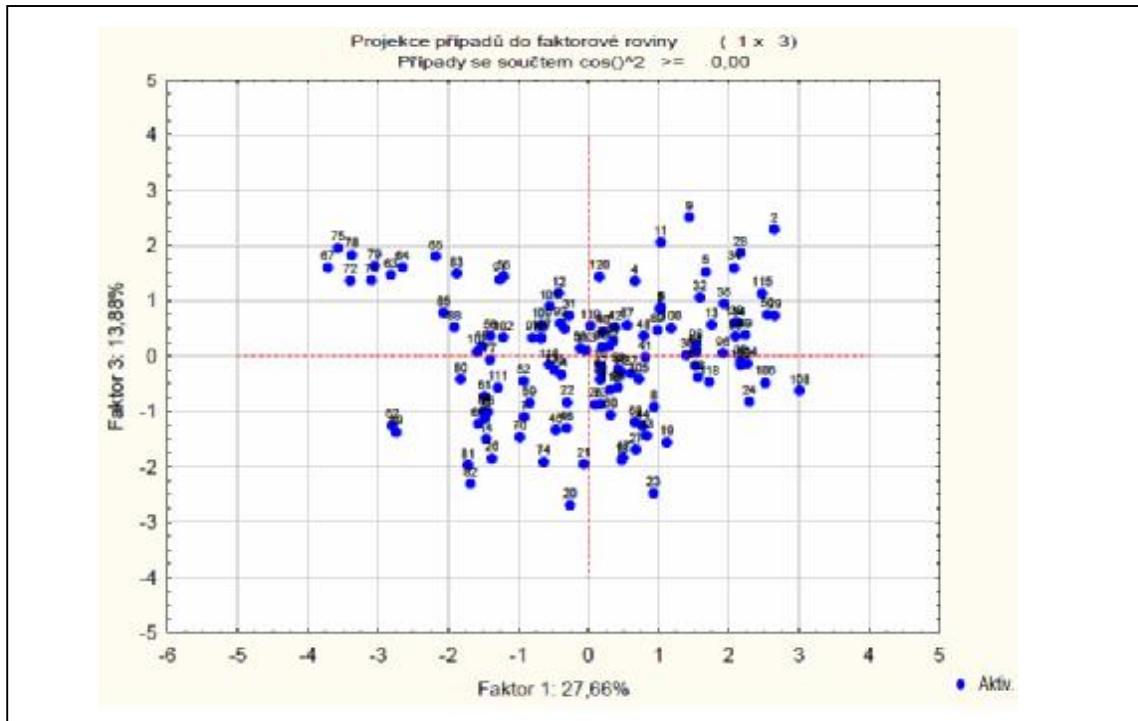
- umístění objektů – blízko počátku jsou typičtější, daleko od centra jsou extrémny;
- podobnosti objektů – vzájemně malé vzdálenosti svědčí o podobnosti objektů, velké vzdálenosti o jejich nepodobnosti;
- objektů v shlucích – objekty, které jsou si velice podobné, vytvářejí shluk a jsou nepodobné ostatním shlukům objektů;
- osamělých objektů – silně nepodobné ostatním objektům (izolované), které mohou být současně odlehlými objekty; odlehlé objekty ovlivňují výsledky analýzy PCA.



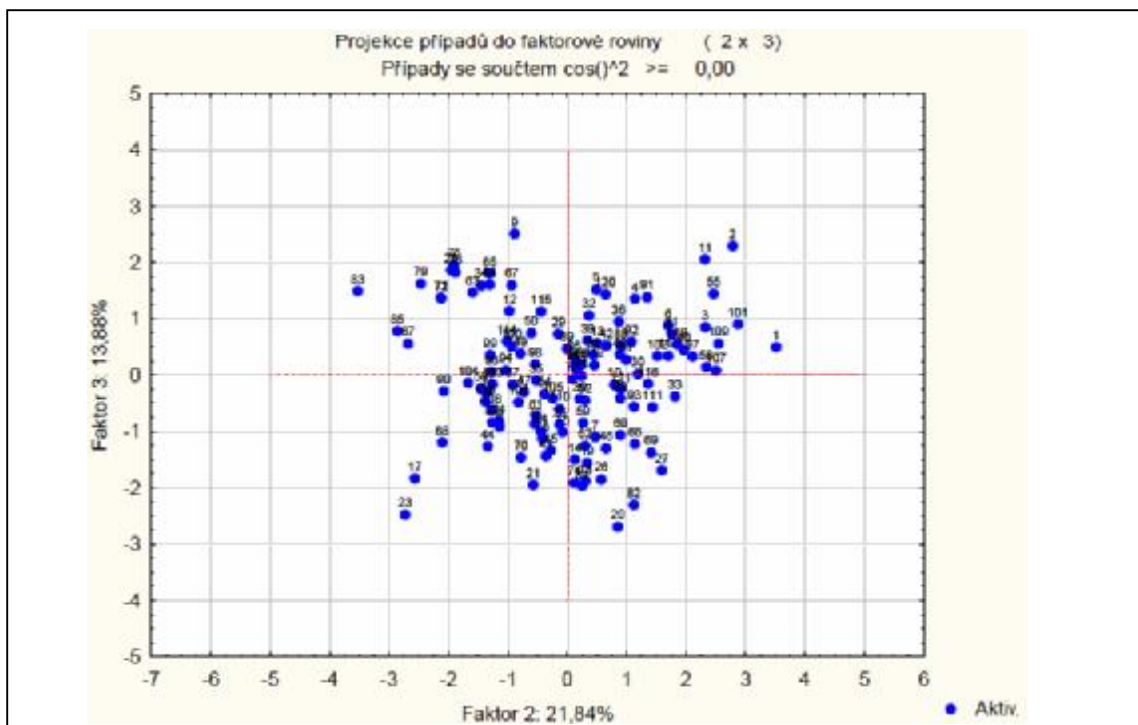
Obr. 40 Rozptylový diagram komponentního skóre PC1 a PC2 při popisu vzorků indexy



Obr. 41 Rozptylový diagram komponentního skóre PC1 a PC2 (detail) při popisu vzorků indexy



Obr. 42 Rozptylový diagram komponentního skóre PC1 a PC3 při popisu vzorků indexy



Obr. 43 Rozptylový diagram komponentního skóre PC2 a PC3 při popisu vzorků indexy

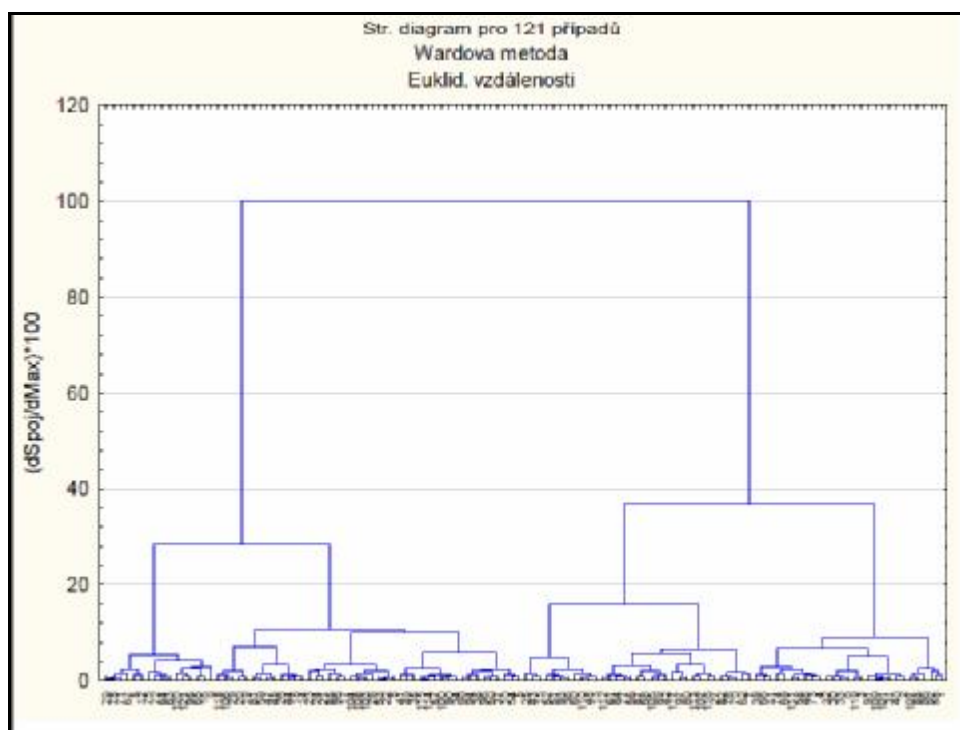
Z rozptylového diagramu komponentního skóre pro PC1 a PC2 (Obr. 40–41) popisující největší část informace obsažené v datech, vyplývají následující závěry:

- vzorek č. 2 je objekt silně nepodobný ostatním objektům, jelikož je izolovaný; jedná se o odlehlý objekt obsahující velké množství nečistot;

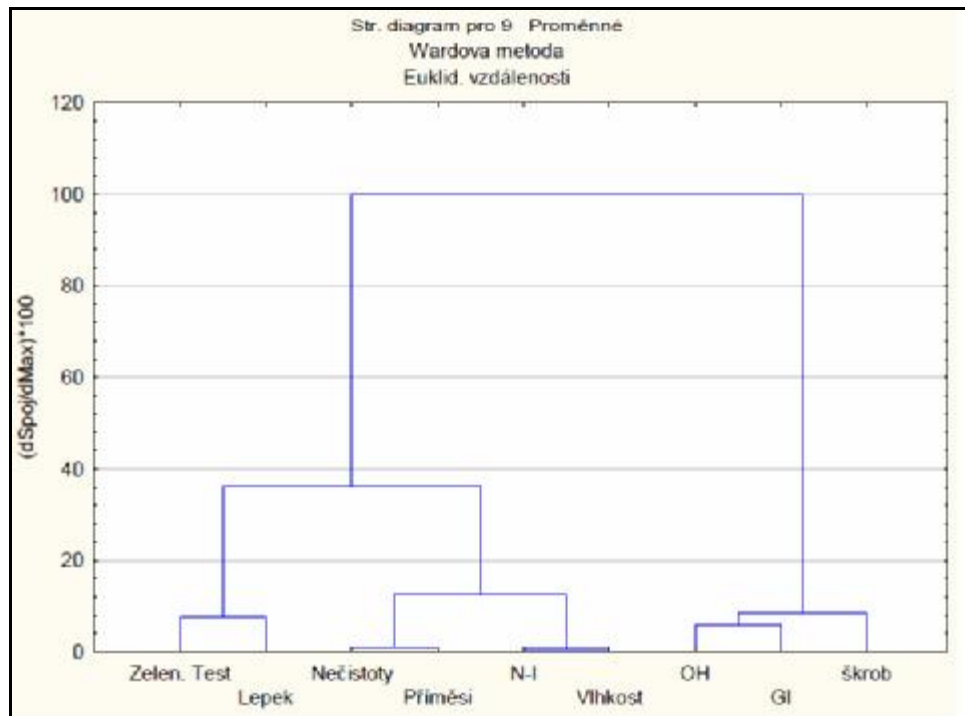
- vzorek č. 67 je odlehlý objekt nepodobný ostatním objektům s velmi nízkým obsahem škrobu;
- vzorek č. 108 je objekt izolovaný, nepodobný ostatním objektům;
- vzorky č. 83 a 85 jsou odlehlé objekty, jejichž vzdálenost od sebe je malá, což svědčí o podobnosti objektů.

7.2.5 Shluková analýza

Pro analýzu shluku byla použita Wardova metoda, která je založena na minimalizaci ztráty informace při spojení dvou tříd. V každém kroku je uvažován takový možný pár objektů či shluků, aby suma čtverců odchylek od střední hodnoty dosáhla při vzniku shluku svého minima.



Obr. 44 Dendrogram podobnosti znaků pro 121 případů



Obr. 45 Dendrogram podobnosti znaků pro 9 parametrů

Dendrogram znaků na Obr. 45 ukazuje dva shluky. První shluk obsahuje dva velmi blízké shluky, první zahrnuje dvojici **Zeleného testu a lepek** a druhý obsahuje dva velmi blízké shluky **nečistoty a příměsí** a **N-látky a vlhkost**. Druhý shluk zahrnuje dvojici **OH a GI**, ke kterému se připojuje parametr **škrob**.

ZÁVĚR

Diplomová práce byla zaměřena na stanovení vlhkosti, obsahu popela, dusíkatých látek a škrobu u vzorků poskytnutých od firmy Penam a.s.

U vlhkosti platí, že je-li obsah vlhkosti příliš vysoký, mohou se zhoršovat mlecí charakteristiky pšenice a snižovat výtěžek mouky a při příliš nízkém obsahu vlhkosti dochází k zvyšování obsah popela. Zjištěná průměrná vlhkost v pšeničném zrně byla 13,1 %. Tato hodnota splňuje požadavek, který stanovuje, že obsah vlhkosti u pšeničného zrna musí být nejvýše 14,0 %. Průměrný obsah popela v pšeničném zrně byl 1,8 %.

Průměrný obsah dusíkatých látek byl 13,3 %. Tato hodnota, ale nesplňuje požadavek na 11,5 %, protože byla překročena o 1,8 %. Poslední stanovení, které bylo provedeno pomocí polarimetrické metody, ukázalo, že průměrný obsah škrobu v pšeničné mouce byl 70,0 %. Tato hodnota splňuje požadavek stanovující obsah škrobu pšeničné mouce, který je udáván v rozmezí 59 – 72 %. Dále bylo potvrzeno, že druh mouky má vliv na obsah škrobu.

Na závěr byla provedena statistická analýza daných parametrů. Pomocí krabicových grafů bylo prokázáno, že většina vzorků (121 ze 134) bylo v rámci hranice mezního stavu. 13 vzorků označených za odlehlé či extrémní objekty překračující mezní stav byly z analýzy odstraněny. Významná pozitivní korelace byla mezi parametry příměsi a nečistoty. Jedná o parametry sobě si velmi blízké (příměsi: zrna základních druhů obilovin s odlišnou jakostí; nečistoty: účelově nepoužitelné nebo nežádoucí složky v příslušném druhu obilovin včetně mrtvých škůdců). Oba tyto parametry nejsou v pšeničné mouce žádoucí. Vysoká pozitivní korelace byla prokázána mezi parametrem lepek a N-látky. Jsou to parametry, které spolu úzce souvisejí, protože lepek je směs bílkovin (dusíkatých látek). Metodou hlavních komponent byly odstraněny parametry popel a číslo poklesu, tím se počet parametrů zahrnutých do modelu se zredukoval z 11 na 9. Rozptylové diagramy komponentního skóre PC1 a PC2 ukazovaly na 5 odlehlých objektů, u třech vzorků (izolovaný odlehlý bod) a dva vzorky (odlehlé objekty, jejichž vzdálenost od sebe je malá). Shlukovou analýzou byly na dendrogramu prokázány dva shluky, obsahující parametry, které spolu souvisejí.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KADLEC, P., MELZOCH, K., VOLDŘICH, M. a kol. *Co byste měli vědět o výrobě potravin: technologie potravin*. 1. vyd. Ostrava: KEY Publishing s.r.o., 2009. 536 s. ISBN 978-80-7418-051-4.
- [2] PEŠEK, M. a kol. *Potravinářské zbožiznalství*. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 2000. 175 s. ISBN 80-7040-399-3.
- [3] BALMEET, S. G., JASPREET, S., LOVEDEEP, K., NARPINDER, S., NAVDEEP, S. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 2003, 81,. s. 219–231.
- [4] HRUŠKOVÁ, M., PŘÍHODA, J., SKŘIVAN, P. *Cereální chemie a technologie I – cereální chemie, mlýnská technologie, technologie výroby těstovin*. 1. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko- technologická, 2003. 202 s. ISBN 80-7080-530-7.
- [5] VODRÁŽKA, Z. *Biochemie 2*. 1. vyd. Praha: Československé akademie věd, 1992. 136 s. ISBN 80-200-0441-6.
- [6] GAJDOŠOVÁ, A., ŠTURDÍK, E. *Biologické, chemické a nutrično–zdravotné charakteristiky pekářských cereálií*. [online]. [cit. 2011-04-10]. Dostupné z: <http://fpv.ucm.sk/katedry/biotechnolog/journal_nova_biotechnologica/revue_nova_biotechnologica_4_1/10_Gajdosova.pdf>.
- [7] DAVÍDEK, J., JANÍČEK, G., POKORNÝ, J. *Chemie potravin*. Praha: SNTL, 1969. 632 s. ISBN 04-815-83.
- [8] ŠÁRKA, E., BUBNÍK, Z. *Morfologie, chemická struktura, vlastnosti a možnosti využití pšeničného B–škrobu*. [online]. [cit. 2011-04-14]. Dostupné z: <http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2010_05_318-325.pdf>.
- [9] BERÁNEK, J., *Slovník potravinářů a gastronomů*. 1. vyd. Praha: MAG Consulting s.r.o., 2005. 103 s. ISBN 80-86724-04-2.
- [10] Vyhláška 329/1997 Sb. *kteou se provádí § 18 písm. a), d), h), i), j) a k) zákona č. 110/1997 Sb., o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů, pro škrob a výrobky ze škrobu, luštěniny a olejnatá semena*.

- [11] HYUN–JUNG, C., QIANG, L. Impact of molecular structure of amylopektin and amylose on amylose Chin association during cooling. *Carbohydrate Polymers*, 2009, 77, s. 807–815.
- [12] HUMPOLÍKOVÁ, P., NOVOTNÁ, D., PŘÍHODA, J. *Základy pekárenské technologie*. 1. vyd. Praha: Pekař a cukrář s.r.o., 2003. 183 s. ISBN 80-902922-1-6.
- [13] VELÍŠEK, J. *Chemie potravin I*. 2. vyd. uprav. Tábor: OSSIS, 2002. 331 s. ISBN 80-86659-00-3.
- [14] KRÁLOVÁ, B., ŠÍCHO, V., VODRÁŽKA, Z. *Potravinářská biochemie*. 2. dopl a přeprac. vyd. Praha: SNTL, 1981. 360 s. ISBN 04-815-81.
- [15] KARLSON, P. *Základy biochemie*. 3. vyd. přeprac. Praha: Academia, 1981. 504 s. ISBN 104-21-852.
- [16] BUDÍNSKÝ, P., HOZA, I., LAZÁRKOVÁ, Z., SUMCZYNSKI, D. *Potravinářská biochemie I*. 2. vyd. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011. 167 s. ISBN 978-80-7318-936-5.
- [17] DELCOUR, J. A., LAMBERTS, L., PUTSEYS, J. A. Amylose – inclusion complexes: Formation, identity and physico–chemical properties. *Journal of Cereal Science*, 2010, 51, s. 238–247.
- [18] BURTON, CH., HU, G., YANG., CH. Efficient measurement of amylose content in cereal grains. *Journal of Cereal Science*, 2010, 51, s. 35–40.
- [19] FERENČÍK, M., ŠKÁRKA, B. *Biochémiá*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1983. 635 s. ISBN 63-556-83.
- [20] KADLEC, P. a kol., *Technologie potravin I*. 1. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko- technologická, 2002. 300 s. ISBN 80-7080-509-9.
- [21] HAMPL, J. *Cereální chemie a technologie I.: (skladování obilí a mlynářství)*. 2. přeprac. vyd. Praha: VŠCHT, 1988. 241 s.
- [22] FENGWEI, X., HONGSHENG, L., LIN, L., LING, CH., LONG, Y. Thermal processing of starch-based polymers. *Progress in Polymer Science*, 2009, 34, s. 1348–1368.

- [23] ČEPIČKA, J. a kol. *Obecná potravinářská technologie*. 1. vyd. Praha: VŠCHT, 1995. 246 s. ISBN 80-7080239-1.
- [24] Škrob [online]. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta [cit. 2011-04-10]. Dostupné z: <<http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/databaze/Skrob.htm>>.
- [25] CHRVALOVÁ, L. Výroba škrobů a jejich využití v průmyslu. *Bakalářská práce*. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2009, Zlín, 54 s.
- [26] *Pšenice obecná (Triticum aestivum L.)* [online]. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta [cit. 2011-04-10]. Dostupné z: <<http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/databaze/Psenice.htm>>.
- [27] LANGMAIER, F. *Nauka o zboží*. 3. vyd. nezměn. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, Fakulta managementu a ekonomiky, 2004. 144 s. ISBN 80-7318-173-8.
- [28] Vyhláška č.333/1997 Sb., kterou se provádí § 18 písm. a), d), h), i), j) a k) zákona č. 110/ 1997 Sb. o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů, pro mlýnské obilné výrobky, těstoviny, pekařské výrobky a cukrářské výrobky a těsta.
- [29] HRABĚ, J., KOMÁR, A. *Technologie, zbožíznalství a hygiena potravin III. část (Technologie, zbožíznalství a hygiena potravin rostlinného původu)*. Vyškov: Vysoká vojenská škola pozemního vojska, 2003. 163 s. ISBN 80-7231-7.
- [30] KUČEROVÁ, J. *Technologie cereálií*. 1. vyd. Brno: Mendlova zemědělská a lesnická univerzita, 2004. 141 s. ISBN 80-7157-811-8.
- [31] SKOUPIL, J. *Suroviny pro učební obor pekař, pekařka*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1989. 224 s. ISBN 04-816-89.
- [32] *Potravinové tabulky*. 1. vyd. Praha: Společnost pro výživu, 1992. 69 s. ISBN 80-85120-42-9.
- [33] MORITZ T., NIGG D., *Versuchsanstalt für Getreideverarbeitung*. [online]. [cit. 2011-04-14]. Dostupné z: http://ipp.boku.ac.at/pz/uebungen/hg/protokoll_vfg_2001/protokoll_VFG.html>.

- [34] AKBAR, A. M., FAQIR M. A., SAEED A. Micronutrient fortification of wheat flour: Recent development and strategie. *Food Research International*, 2011, 44, s. 652–659.
- [35] COLOMBO, A., LEON, A. E., PEREZ, G. T., RIBOTTA, P. D. A comparative study of physicochemical tests for quality prediction of Argentine wheat flours used as corrector flours and for cookie production. *Journal of Cereal Science*, 2008, 48, s. 775–780.
- [36] PRUGAR, J. a kol. *Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí*. Praha: Výzkumný ústav pivovarský a sladařský a.s., 2008. 327 s. ISBN 978-80-86576-28-2.
- [37] HUBÍK, K., MAREČEK, J. *Kvalita obilnin*. [online]. Kroměříž: Zemědělský výzkumný ústav, s.r.o., Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, [cit. 2011-04-15]. Dostupné z: <http://www.agroweb.cz/KVALITA_OBILNIN__s44x8475.html>.
- [38] HRIVNA, L., RICHTER, R. *Pšenice ozimá*. [online]. Brno: MZLU, Ústav agrochemie a výživy rostlin, [cit. 2011-04-15]. Dostupné z: <http://web2.mendelu.cz/af221_multitext/hnojeni_plodin/html/obilniny/pšenice_ozima.htm>.
- [39] ČNS 46 1011-18 *Zkoušení obilovin, luštěnin a olejnin – Část 18: Zkoušení obilovin – Stanovení obsahu dusíkatých látek*. Praha: Český normalizační institut, 2003. 8 s.
- [40] PAZDERA, K. *Přehled charakteristik jakostních ukazatelů obilovin*. [online]. [2011-04-15]. Dostupné z: <http://www3.czu.cz/php/skripta/kapitola.php?titul_key=81&id_kapitola=15>.
- [41] BUREŠOVÁ, I., PALÍK, S. *Počasí jako faktor pekárenské kvality pšeničného zrna*. [online]. Obilnářské listy 1/2009 [cit. 2011-04-15]. Dostupné z: <<http://www.vukrom.cz/obilnarske-listy/pdf-ol/obil-listy-1-09.pdf>>.
- [42] NOVOTNÁ, F., HUBÍK, K. *Nové směry v hodnocení jakosti potravinářské pšenice*. [online]. Brno: ÚKZÚZ, Kroměříž: Zemědělský výzkumný ústav, s.r.o.

- [cit. 2011-04-15]. Dostupné z:<http://www.agrokrom.cz/texty/Obilnarske_listy/novotny_nove%20smery%20v%20hodnoceni_1%20cast_973.pdf>.
- [43] ČSN EN ISO 712 (46 1014) *Obiloviny a výrobky z obilovin – Stanovení vlhkosti – Referenční metoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. 28 s.
- [44] PAZDERA, K. *Hodnocení jakosti potravinářské pšenice*. [online]. [cit. 2011-04-15]. Dostupné z:<http://www3.czu.cz/php/skripta/kapitola.php?titul_key=81&idkapitola=12>.
- [45] SLUKOVÁ, M. *Kvalitativní ukazatele pšenice a pšeničných mouk*. [online]. [cit. 2011-04-15]. Dostupné z:<http://www.vscht.cz/main/soucasti/fakulty/fpbt/grant_TRP/dokumenty/06.pdf>.
- [46] ČSN 56 0512-8 *Metody zkoušení mlýnských výrobků – Část 8: Stanovení popela*, Praha: Federální úřad pro normalizaci a měření, 1993. 8 s.
- [47] ČSN 46 1100-2 *Obiloviny potravinářské – Část 2: Pšenice potravinářská*, Praha: Český normalizační institut, 2001. 8 s.
- [48] JARKOVSKÝ, J., LITTNEROVÁ S. *Vícerozměrné statistické metody*. [online]. [cit. 2011-04-30]. Dostupné z: <<http://www.iba.muni.cz/esf/res/file/bimat-prednasky/vicerozmerne-statisticke-metody/VSM-06.pdf>>.
- [49] MELOUN, M., MILITKÝ, J. *Kompendium statistického zpracování dat: Metody a řešené úlohy*. 2. vyd. přeprac. a rozš. Praha: Academia, 2006. 984 s. ISBN 80-200-1396-2.
- [50] HILL, M., MELOUN, M., MILITKÝ, J. *Počítačová analýza vícerozměrných dat v příkladech*. 1. vyd. Praha: Academia, 2005. 456 s. ISBN 80-200-1335-0.
- [51] MELOUN, M., MILITKÝ, J. *Statistická analýza experimentálních dat*. 1. vyd. Praha: Academia, 2004. s. 954. ISBN 80-200-1254-0.
- [52] HARUŠTIAKOVÁ, D., JARKOVSKÝ, J., LITTNEROVÁ, S. *Vícerozměrné statistické metody v biologii* [online]. [cit. 2011-04-30]. Dostupné z: <<http://is.muni.cz/>>.

- [53] HEBÁK, P., HUSTOPECKÝ, J., PECÁKOVÁ, I., PRŮŠA, M., ŘEZANKOVÁ, H., SVOBODOVÁ, A., VLACH, P. *Vícerozměrné statistické metody (3)*. Praha: Informatorium., 2005. 255 s. ISBN 80-7333-039-3.
- [54] MELOUN, M. *Metody a vzorové úlohy PYTHAGORAS*. [online]. [cit. 2011-04-30]. Dostupné z: <<http://meloun.upce.cz/>>.
- [55] RIMARČÍK, M. *Faktorová analýza*. [online]. [cit. 2011-04-30]. Dostupné z: <<http://rimarcik.com/navigator/fa.html>>.
- [56] *Nařízení komise (ES) č. 152/2009 ze dne 27. ledna 2009, kterým se stanoví metody odběrů vzorků a laboratorního zkoušení pro úřední kontrolu krmiv*.
- [57] *Polarimetr*. [online]. [cit. 2011-04-30]. Dostupné z: <<http://www.optingservis.cz/>>
- [58] *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>>.
- [59] STATISTICA CZ [statistický program, CD-ROM]. Ver. 9.1. Tulsa (USA): Statsoft, Inc.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

a. s.	akciová společnost
ČSN	Česká státní norma
N-látky	dusíkaté látky
KDa	kilodaltony
MDa	megadaltony
ČR	Česká republika
tis.	tisíc
Bram.	bramborová
obil.	obilnářská
NaCl	chlorid sodný
EU	Evropská unie
GI	Gluten index
OH	objemová hmotnost
ČP	číslo poklesu
ZT	Zelenyho test
NaOH	hydroxid sodný
NH ₃	amoniak
H ₃ BO ₃	kyselina boritá
(NH ₄) ₂ BO ₃	boritan diamonný
H ₂ SO ₄	kyselina sírová
(NH ₄)SO ₄	síran amonný
H ₂ O ₂	peroxid vodíku
Na ₂ SO ₄	síran sodný
CuSO ₄	síran měďnatý

HCl	kyselina chlorovodíková
Hmot. %	hmotnostní procento
ZnSO ₄	síran zinečnatý
K ₄ [Fe(CN) ₆]	hexakynoželeznatan draselný
K ₂ SO ₄	síran draselný
Zn ₂ [Fe(CN) ₆]	hexakynoželeznatan zinečnatý
č.	Číslo

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Škrobová zrna pšeničného škrobu.....	13
Obr. 2 Znázornění glykozidických vazeb.....	14
Obr. 3 Amylóza	14
Obr. 4 Levotočivá šroubovice – amyλόza	15
Obr. 5 Amylopektin.....	16
Obr. 6 Schématická struktura amylopektinu.....	16
Obr. 7 Odbourávání škrobu – enzymy.....	17
Obr. 8 Schématické znázornění změn škrobu během želatinace a retrogradace	19
Obr. 9 Schéma Martina zpusobu výroby pšeničného škrobu	21
Obr. 10 Pšenice (Tritium)	25
Obr. 11 Anatomická stavba obilného zrna	26
Obr. 12 Glutomatic.....	28
Obr. 13 Obsahy hlavních typů sacharidů v jednotlivých částech pšeničného zrna	30
Obr. 14 Vliv dávek dusíku na kvalitu pekárenských výrobků z pšenice.....	33
Obr. 15 Přístroj na stanovení sedimentačního indexu.....	35
Obr. 16 Přístroj na stanovení čísla poklesu.....	36
Obr. 17 Popis polarimetrického přístroje.....	58
Obr. 18 Obsah dusíkatých látek v příslušných vzorcích	61
Obr. 19 Krabicový graf parametru VLHKOST	62
Obr. 20 Krabicový graf parametru ŠKROB.....	63
Obr. 21 Krabicový graf parametru PŘÍMĚSI	63
Obr. 22 Krabicový graf parametru NEČISTOTY	64
Obr. 23 Krabicový graf parametru LEPEK	64
Obr. 24 Krabicový graf parametru GI	65
Obr. 25 Krabicový graf parametru OH.....	65
Obr. 26 Krabicový graf parametru ČP.....	66
Obr. 27 Krabicový graf parametru ZELENYHO TEST.....	66
Obr. 28 Krabicový graf parametru N-látky.....	67
Obr. 29 Krabicový graf parametru POPEL.....	67
Obr. 30 Korelace	69
Obr. 31 Ikonový graf – Chemoffovy tváře	70

Obr. 32 Sutinový graf.....	72
Obr. 33 Graf komponentních zátěží PC1 a PC2	73
Obr. 34 Graf komponentních zátěží PC1 a PC3	73
Obr. 35 Graf komponentních zátěží PC2 a PC3	74
Obr. 36 Cattelův indexový graf úpatí vlastních čísel.....	75
Obr. 37 Graf komponentních zátěží PC1 a PC2	77
Obr. 38 Graf komponentních zátěží PC1 a PC3	77
Obr. 39 Graf komponentních zátěží PC2 a PC3	77
Obr. 40 Rozptylový diagram komponentního skóre PC1 a PC2 při popisu vzorků indexy	79
Obr. 41 Rozptylový diagram komponentního skóre PC1 a PC2 (detail) při popisu vzorků indexy.....	79
Obr. 42 Rozptylový diagram komponentního skóre PC1 a PC3 při popisu vzorků indexy	80
Obr. 43 Rozptylový diagram komponentního skóre PC2 a PC3 při popisu vzorků indexy	80
Obr. 44 Dendrogram podobnosti znaků pro 121 případů.....	81
Obr. 45 Dendrogram podobnosti znaků pro 9 parametrů.....	82

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Požadavky na jakost pšeničného škrobu.....	13
Tab. 2 Přehled odrůd pšenice vhodných pro produkci škrobu.....	24
Tab. 3 Obsah základních složek v daných druzích pšeničné mouky.....	27
Tab. 5 Minimální hodnoty pro zařazení odrůd do kategorií	41
Tab. 6 Hodnoty jakostních ukazatelů	42
Pokračování Tab. 6.....	43
Tab. 7 Test významnosti faktoru druhu mouky na obsah škrobu	61
Tab. 8 Popisné statistiky	68
Tab. 9 Korelační matice znaků.....	68
Tab. 10 Vlastní čísla	71
Tab. 11 Vlastní čísla	75
Tab. 12 Vlastní vektory	76
Tab. 13 Komponentní zátěže	77
Tab. 14 Stanovení vlhkosti, obsahu popele, dusíkatých látek a škrobu v %.....	96

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA PI. Stanovení vlhkosti, obsahu popele, dusíkatých látek a škrobu

PŘÍLOHA P I: STANOVENÍ VLHKOSTI, OBSAHU POPELE, DUSÍKATÝCH LÁTEK A ŠKROBU

Tab. 14 Stanovení vlhkosti, obsahu popele, dusíkatých látek a škrobu v % (aritm. průměr ± směrod. odch.)

Číslo vzorku	Vlhkost	Obsah popele	Obsah N-látek	Obsah škrobu
1	13,12 ± 0,31	1,78 ± 0,11	14,12 ± 0,20	70,98 ± 0,76
2	12,80 ± 0,20	1,79 ± 0,08	13,21 ± 0,10	70,98 ± 0,49
3	13,01 ± 0,18	1,78 ± 0,10	13,60 ± 0,12	71,31 ± 0,31
4	13,33 ± 0,06	1,75 ± 0,01	13,25 ± 0,15	69,13 ± 0,31
5	12,44 ± 0,08	1,78 ± 0,09	13,25 ± 0,32	69,28 ± 0,30
6	13,10 ± 0,01	1,79 ± 0,05	13,31 ± 0,15	71,88 ± 0,28
7	12,31 ± 0,11	1,82 ± 0,04	13,45 ± 0,15	59,93 ± 0,46
8	12,30 ± 0,21	1,81 ± 0,08	13,21 ± 0,16	69,23 ± 0,30
9	13,91 ± 0,31	1,77 ± 0,01	12,01 ± 0,20	76,60 ± 0,01
10	13,50 ± 0,21	1,71 ± 0,05	13,46 ± 0,06	71,48 ± 0,29
11	14,07 ± 0,22	1,84 ± 0,01	13,03 ± 0,13	70,96 ± 0,56
12	14,00 ± 0,04	1,77 ± 0,01	13,31 ± 0,30	69,84 ± 0,29
13	14,25 ± 0,07	1,70 ± 0,03	13,51 ± 0,13	65,67 ± 0,01
14	11,41 ± 0,08	3,80 ± 4,04	12,52 ± 0,03	71,88 ± 0,63
15	12,80 ± 0,12	1,84 ± 0,04	12,51 ± 0,06	71,82 ± 0,27
16	13,64 ± 0,03	1,65 ± 0,07	14,00 ± 0,01	66,99 ± 1,20
17	13,54 ± 0,01	1,61 ± 0,04	13,62 ± 0,04	66,77 ± 0,77
18	13,95 ± 0,17	1,78 ± 0,01	14,51 ± 0,12	74,29 ± 0,28
19	13,04 ± 0,18	1,77 ± 0,03	14,43 ± 0,11	67,76 ± 0,25
20	13,01 ± 0,21	1,79 ± 0,01	12,31 ± 0,20	66,22 ± 0,64

Číslo vzorku	Vlhkost	Obsah popele	Obsah N-látek	Obsah škrobu
21	12,44 ± 0,08	1,69 ± 0,03	12,31	68,28 ± 1,04
22	12,91 ± 0,21	1,85 ± 0,05	*	74,32 ± 0,60
23	13,50 ± 0,04	1,74 ± 0,01	*	73,48 ± 0,94
24	16,92 ± 0,07	1,60 ± 0,06	*	71,81 ± 0,60
25	12,95 ± 0,15	1,70 ± 0,02	*	71,16 ± 0,32
26	13,30 ± 0,16	1,70 ± 0,03	*	69,49 ± 1,01
27	12,74 ± 0,14	1,79 ± 0,01	*	65,95 ± 0,56
28	13,36 ± 0,12	1,78 ± 0,01	*	72,90 ± 0,46
29	14,01 ± 0,01	1,79 ± 0,02	*	69,37 ± 0,52
30	13,73 ± 0,08	1,72 ± 0,03	*	69,92 ± 0,52
31	10,20 ± 0,07	1,80 ± 0,01	*	72,43 ± 0,45
32	13,71 ± 0,16	1,79 ± 0,18	*	73,07 ± 1,05
33	13,46 ± 0,21	1,71 ± 0,04	*	72,90 ± 0,60
34	11,69 ± 0,18	1,78 ± 0,05	*	70,37 ± 1,48
35	13,31 ± 0,20	1,71 ± 0,06	*	72,38 ± 0,28
36	13,90 ± 0,09	1,72 ± 0,01	*	73,06 ± 0,31
37	12,64 ± 0,10	1,73 ± 0,01	*	71,16 ± 0,45
38	13,25 ± 0,15	1,73 ± 0,03	*	71,81 ± 0,71
39	12,71 ± 0,18	1,72 ± 0,02	*	75,71 ± 0,45
40	13,20 ± 0,10	1,74 ± 0,09	*	67,13 ± 0,28
41	13,96 ± 0,17	1,74 ± 0,00	*	67,47 ± 1,22
42	12,83 ± 0,10	1,72 ± 0,01	*	74,98 ± 0,63
43	12,81 ± 0,10	1,79 ± 0,09	*	70,16 ± 0,24
44	13,25 ± 0,14	1,71 ± 0,08	*	73,56 ± 0,29

Číslo vzorku	Vlhkost	Obsah popele	Obsah N-látek	Obsah škrobu
45	13,22 ± 0,04	1,75 ± 0,02	*	73,23 ± 0,25
46	13,01 ± 0,01	1,80 ± 0,01	*	71,26 ± 1,19
47	11,94 ± 0,08	1,80 ± 0,08	*	71,15 ± 1,27
48	12,30 ± 0,02	1,79 ± 0,01	*	69,50 ± 1,18
49	12,98 ± 0,03	1,82 ± 0,01	*	66,91 ± 0,28
50	12,23 ± 0,02	1,83 ± 0,01	*	66,54 ± 0,92
51	12,40 ± 0,10	1,78 ± 0,01	*	66,41 ± 2,53
52	12,82 ± 0,01	1,78 ± 0,08	*	67,95 ± 0,23
53	11,47 ± 0,08	1,73 ± 0,01	*	71,32 ± 0,31
54	13,30 ± 0,12	1,75 ± 0,01	*	70,46 ± 2,51
55	14,02 ± 0,17	1,70 ± 0,05	*	72,55 ± 0,28
56	13,10 ± 0,01	1,71 ± 0,01	*	67,99 ± 0,27
57	13,78 ± 0,10	1,70 ± 0,01	*	64,35 ± 0,63
58	14,01 ± 0,21	1,79 ± 0,03	*	68,55 ± 0,52
59	13,44 ± 0,10	1,75 ± 0,02	*	70,14 ± 1,12
60	13,62 ± 0,02	1,70 ± 0,06	*	70,05 ± 1,90
61	14,09 ± 0,03	1,71 ± 0,02	*	75,38 ± 0,27
62	13,42 ± 0,01	1,71 ± 0,05	*	67,43 ± 0,47
63	11,26 ± 0,15	1,71 ± 0,07	*	71,88 ± 0,32
64	13,25 ± 0,20	1,72 ± 0,01	*	67,86 ± 0,45
65	14,02 ± 0,18	1,75 ± 0,05	*	65,67 ± 0,89
66	13,30 ± 0,05	1,79 ± 0,03	*	73,65 ± 0,31
67	14,03 ± 0,14	1,86 ± 0,02	*	55,71 ± 1,36

*u vzorků č. 21–67 nebyly dusíkaté látky stanoveny