# Utjecaj fizikalno-kemijskih parametara kvalitete pšeničnog zrna na postotak izbrašnjavanja

**Koči, Matea**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2018**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, FACULTY OF FOOD TECHNOLOGY / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:109:554822

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-03-29**

REPOZITORIJ PTFOS PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK dabar DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

*Repository / Repozitorij:*

Repository of the Faculty of Food Technology Osijek

zir.nsk.hr

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

dabar DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
**PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK**

**Matea Koči**

# UTJECAJ FIZIKALNO-KEMIJSKIH PARAMETARA KVALITETE PŠENIČNOG ZRNA NA POSTOTAK IZBRAŠNJAVANJA

DIPLOMSKI RAD

**Osijek, srpanj 2018.**

**TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA**
**DIPLOMSKI RAD**

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek
Zavod za prehrambene tehnologije
Katedra za tehnologije prerade žitarica
Franje Kuhača 20, 31000 Osijek, Hrvatska

| | |
|---|---|
| Znanstveno područje: | Biotehničke znanosti |
| Znanstveno polje: | Prehrambena tehnologija |
| Nastavni predmet: | Skladištenje žitarica i proizvodnja brašna |
| Tema rada | je prihvaćena na IX. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek u akademskoj godini 2017./2018. održanoj 29. lipnja 2018. |
| Mentor: | izv. prof. dr. sc. *Marko Jukić* |
| Pomoć pri izradi: | Ana Šušak, dipl. ing., stručni suradnik |

**UTJECAJ FIZIKALNO-KEMIJSKIH PARAMETARA KVALITETE PŠENIČNOG ZRNA NA POSTOTAK IZBRAŠNJAVANJA**

Matea Koči, 421-DI

**Sažetak:** Cilj ovog rada bio je ispitati utjecaj osnovnih fizikalno-kemijskih svojstava zrna različitih sorti ozime pšenice na postotak izbrašnjavanja. Laboratorijsko mljevenje pšenice provedeno je na laboratorijskom mlinu MLU-202 (Bühler, Švicarska). Određeni su udio pepela u zrnu, hektolitarska masa, apsolutna masa, udio proteina u zrnu, sedimetacijska vrijednost i staklavost zrna. U istraživanju je korišteno 30 uzoraka različitih sorti ozime pšenice roda 2017. godine.
Utvrđena je statistički značajna korelacija ($p<0,05$) između postotka izbrašnjavanja i većine ispitanih fizikalno kemijskih svojstava. Hektolitarska masa, udio proteina, sedimentacijska vrijednost i staklavost zrna također i međusobno statistički značajno koreliraju iz čega se može zaključiti da zrna velike hektolitarske mase i visokog udjela proteina posjeduju i veću kvalitetu proteina te veću tvrdoću zrna što u konačnici dovodi do boljeg postotka izmeljavanja. Izrađenim modelom predviđanja postotka izbrašnjavanja metodom višestruke linearne regresije kao najprikladniji prediktori pokazali su se udio pepela u zrnu pšenice, hektolitarska masa i staklavost zrna.

| | |
|---|---|
| Ključne riječi: | laboratorijsko mljevenje pšenice, postotak izbrašnjavanja, parametri kvalitete pšeničnog zrna |
| Rad sadrži: | 47 stranica<br>15 slika<br>8 tablica<br>24 literaturna referenca |
| Jezik izvornika: | Hrvatski |

Sastav Povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada i diplomskog ispita:

| | | |
|---|---|---|
| 1. | prof. dr. sc. Daliborka Koceva Komlenić | predsjednik |
| 2. | izv. prof. dr. sc. Marko Jukić | član-mentor |
| 3. | doc. dr. sc. Jasmina Lukinac Čačić | član |
| 4. | izv. prof. dr. sc. Krešimir Mastanjević | zamjena člana |

Datum obrane: 20. srpnja 2018.

**Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u** Knjižnici Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek.

**BASIC DOCUMENTATION CARD**
**GRADUATE THESIS**

University Josip Juraj Strossmayer in Osijek
Faculty of Food Technology Osijek
Department of Food Technology
Subdepartment of grain processing technologies
Franje Kuhača 20, HR-31000 Osijek, Croatia

| | |
|---|---|
| Scientific area: | Biotechnical sciences |
| Scientific field: | Food technology |
| Course title: | Cereal storage and flour production |
| Thesis subject | was approved by the Faculty of Food Technology Osijek Council at its session no. IX held on June 29, 2018. |
| Mentor: | *Marko Jukić*, PhD, associate prof. |
| Technical assistance: | *Ana Šušak,* dipl. ing., expert associate |

**THE INFLUENCE OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF WHEAT GRAIN ON THE FLOUR MILLING YIELD**

Matea Koči, 421-DI

**Summary:** The aim of this study was to investigate the effect of physico-chemical properties of wheat grain on milling yield. Experimental milling of wheat was conducted on a laboratory mill MLU-202 (Bühler, Switzerland). Grain ash content, hectolitre mass, 1000 kernel weight, grain protein content, sedimentation value, and grain vitreousness were determined. Thirty samples of different winter wheat varieties harvested in 2017 were used in this study.

There was a statistically significant correlation ($p$<0.05) between the milling yield and most of analysed physico-chemical properties. There were also significant correlation between hectolitre mass, grain protein content, sedimentation value, and grain vitreousness from which it can be concluded that the grain of high hectolitre weight and high protein content have better protein quality and increased grain hardness, which leads to a higher milling yield. Multiple regression model used for prediction of milling yield showed that the most appropriate predictors of milling yield were grain ash content, hectolitre mass and grain vitreousness.

Key words: experimental milling of wheat, milling yield, wheat quality parameters

Thesis contains:
47 pages
15 figures
8 tables
24 references

Original in: Croatian

Defense committee:

| | | |
|---|---|---|
| 1. | *Daliborka Koceva Komlenić*, PhD, full prof. | chair person |
| 2. | *Marko Jukić*, PhD, associate prof. | supervisor |
| 3. | *Jasmina Lukinac Čačić*, PhD, assistant prof. | member |
| 4. | *Krešimir Mastanjević*, PhD, associate prof. | stand-in |

Defense date: July 20, 2018

**Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in** Library of the Faculty of Food Technology Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek.

*Zahvaljujem se mentoru izv. prof. dr. sc. Marku Jukiću na velikoj pomoći i savjetima prilikom izrade ovog diplomskog rada.*

*Veliko hvala roditeljima, bratu Svenu. Hvala što ste mi bili podrška tijekom ovih godina studiranja i pomogli mi da dođem do cilja. Bez vas i vaše podrške ovaj san ne bih ostvarila.*

*Puno se zahvaljujem i dečku Mariu koji mi je pružio bezuvjetnu ljubav i podršku tijekom cijelog studiranja te ponekad vjerovao u moj uspjeh više nego ja. Hvala ti od srca.*

## Sadržaj


**1. UVOD ..... 1**

**2. TEORIJSKI DIO ..... 3**

2.1. PŠENICA KAO MLINSKA SIROVINA ..... 4

*2.1.1. Fizikalni kriteriji kakvoće pšenice ..... 6*

*2.1.2. Kemijski kriteriji kakvoće pšenice ..... 6*

2.2. TEHNOLOŠKI POSTUPCI U MLINU ..... 8

*2.2.1. Priprema pšenice za mljevenje ..... 10*

*2.2.2. Usitnjavanje i razvrstavanje usitnjenog materijala ..... 15*

2.3. LABORATORIJSKO MLJEVENJE PŠENICE ..... 20

*2.3.1. Laboratorijski mlin MLU-202 (Bühler) ..... 20*

*2.3.1. Laboratorijski mlinovi Quadrumat (Brabender) ..... 21*

**3. EKSPERIMENTALNI DIO ..... 23**

*3.1. ZADATAK ..... 24*

*3.2. MATERIJALI ..... 24*

*3.3. METODE ..... 24*

*3.3.1. Određivanje fizikalno-kemijskih svojstva pšeničnog zrna ..... 24*

*3.3.2. Laboratorijsko mljevenje pšenice ..... 26*

*3.3.3. Statistička obrada rezultata ..... 29*

**4. REZULTATI ..... 30**

4.1. REZULTATI FIZIKALNO-KEMIJSKIH ANALIZA I LABORATORIJSKOG MLJEVENJA PŠENICE ..... 31

4.2. KORELACIJSKA MATRICA DOBIVENIH REZULTATA ISPITIVANJA ..... 35

4.3. PREDVIĐANJE POSTOTKA IZBRAŠNJAVANJA METODOM VIŠESTRUKE LINEARNE REGRESIJE ..... 36

**5. RASPRAVA ..... 38**

**6. ZAKLJUČCI ..... 43**

**6. LITERATURA ..... 45**

# 1. UVOD

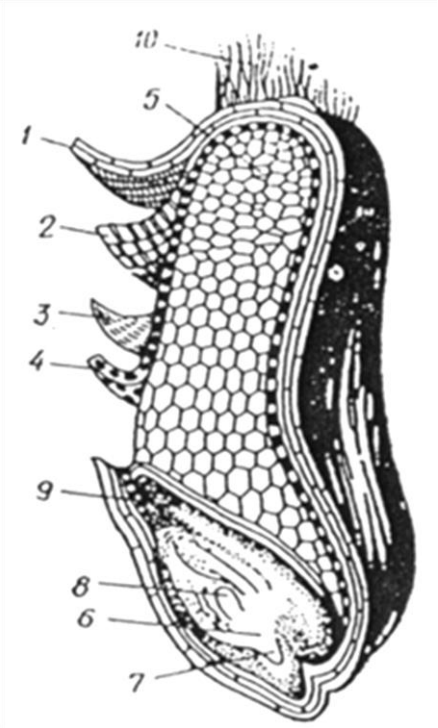
Laboratorijsko mljevenje pšenice provodi se s ciljem da bi se odredila njezina mlinska kvaliteta, odnosno utvrdila količina dobivenog brašna kao i nebrašnastih komponenti (posija). Laboratorijski mlin daje povratne informacije na manjim količinama uzoraka pšenice. Najvažniji parametar koji se dobije probnim mljevenjem je postotak izbrašnjavanja, odnosno ukupna količina brašna koja se može dobiti od određene količine pšenice. Postotak izbrašnjavanja ovisi o sorti pšenice kao i o čitavom nizu drugih faktora koji mogu utjecati na iskorištenje mljevenja poput zdravstvenog stanja zrna, udjela mineralnih tvari u zrnu, udjelu proteina, vlage, hektolitarskoj masi i dr. Bühler-ov laboratorijski mlin se najčešće koristi za procjenu mlinske kvalitete i svojstava pšenice jer svojom konstrukcijom i procesom meljave može približno simulirati proces mljevenja u industrijskom mlinu. Laboratorijsko mljevenje provodi se i u svrhu dobivanja uzoraka brašna potrebnih za provođenje različitih fizikalno-kemijskih analiza i reoloških ispitivanja.

U ovom radu provedene su fizikalno-kemijske analize uzoraka pšenice, a rezultati su uspoređeni s rezultatima laboratorijskog mljevenja u svrhu predviđanja iskorištenja mljevenja.

# 2. TEORIJSKI DIO

## 2.1. PŠENICA KAO MLINSKA SIROVINA

Pšenica je vrsta biljke koju čovjek od davnih dana uzgaja kao vrlo važan izvor hrane. Jednogodišnja je biljka, a plod je pšenično zrno. Pšenično zrno je sjemenka ovijena ljuskom kao njezinim omotačem. Sjemenka se sastoji od omotača ili ljuske, endosperma i klice (Hosenay,1994).




**Slika 1** Uzdužni presjek zrna pšenice (Web1)

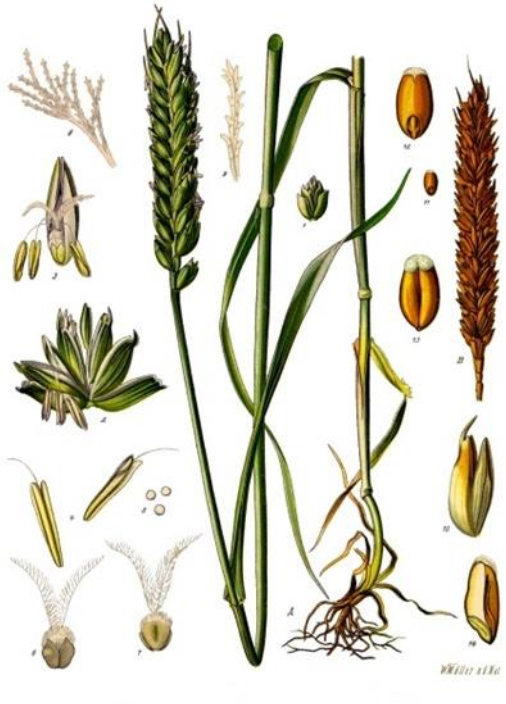
(1-3. Omotač ploda i sjemena, 4. Aleuronski sloj, 5. Endosperm, 6. Klica, 7. Začetak korjenčića, 8. Pupoljak, 9. Štitić, 10. Bradica)

### Botanička pripadnost i klasifikacija

Pšenica pripada redu *Poales*, porodici *Poaceae* (trave), potporodici *Pooideae* (klasaste trave), rodu *Triticum*, koji je najobimniji i po formama najbogatiji rod kod svih žitarica (Jurišić, 2008). Od dvadeset i sedam vrsta pšenice kao mlinske sirovine značajne su samo dvije, obična ili meka pšenica (*Triticum aestivum*) i tvrda pšenica (*Triticum durum*). Od ove dvije navedene pšenice upravo se obična pšenica koristi za proizvodnju brašna. Na proizvodnju pšenice u svijetu otpada 90% na sorte koje pripadaju vrsti *Triticum aestivum*.

**Morfološka i biološka svojstva pšenice**

Razlike između meke i tvrde pšenice postoje u obliku klasa, veličini i obliku zrna, staklavosti, obliku i veličini brazdice, bradice i dr. Pšenica se sastoji od korijena, stabljike (vlati) s listovima, cvjetova skupljenih u cvat (klas) i ploda (zrno) (Koceva, Jukić, 2013).



**Slika 2** Pšenica (Web2)

**Stabljika** pšenice (Slika 2) građena je od nodija (koljenca) i internodija (međukoljenca). Ona je šuplja, osim kod engleske tvrde pšenice. Doseže visinu između 0,5 m i 1,5 m, no selekcijom je visina snižavana, tako da su današnji kultivari visoki između 70 cm i 80 cm.

**List** se sastoji od lisnatoga rukavca i plojke. Obično se razvije od 4 lista do 6 listova.

**Cvat** pšenice je klas, koji se sastoji od koljenastoga klasnoga vretena. U klasu je između 10 do 30 klasića. Povećanjem broja cvjetova u klasiću povisuje se urod. (Heyene, 1994. ) .

**Plod** je zrno (*caryopsis*) koje kod pšenice može biti različite krupnoće (krupno, srednje, sitno), ovisno o vrsti i sorti. Građa zrna prikazana je poprečnim presjekom na Slici 1. Najveći dio zrna od oko 86% ukupne mase zrna čini endosperm, u kojemu su smještene hranjive tvari.

### 2.1.1. Fizikalni kriteriji kakvoće pšenice

Hektolitarska masa pšenice predstavlja masu pšenice u jednom hektolitru izraženu u kg. Na hektolitarsku masu utječu oblik, veličina, gustoća zrna, sadržaj vlage u zrnu i primjese. Za mlinsku proizvodnju koristi se pšenica sa hektolitarskom masom većom od 74 kg/hl (NN 78/2005., čl. 7).

Apsolutna masa (masa 1000 zrna) za tvrde ozime pšenice kreće se od 20 do 32 g, a kod mekih pšenica od 30 do 40 g.

Staklavost zrna ovisi o udjelu proteina, ona je subjektivan faktor te se uzima kao grubi indeks udjela proteina u pšenici. Tvrda, kompaktnija i staklasta zrna imaju veći udio proteina. Boja zrna određena je pigmentom koji se nalaze u ljusci i mora odgovarati vrsti žitarice (NN 78/2005., članak 18).

Primjese su strane tvari koje se mogu pronaći u zrnenoj masi. Dijele se na:

- organske nečistoće (slama, korov),
- anorganske nečistoće (zemlja, kamen),
- organske crne primjese (korov, pokvarenost zrna),
- organske bijele primjese (lomljena zrna).

Mlinarska kvaliteta pšenice:

- pšenica dobre meljivosti >79% brašna,
- pšenica srednje meljivosti 77-79% brašna,
- pšenica loše meljivosti < 77% brašna.

### 2.1.2. Kemijski kriteriji kakvoće pšenice

Optimalan udio vlage u pšenici je oko 13% s obzirom da direktno utječe na skladišnu stabilnost pšenice. Udio proteina ovisi i sorti pšenice te uvjetima u kojima je uzgojena pa se vrijednost kreće od 6 - 20 %. Također je važna i kvaliteta proteina odnosno kvaliteta glutena.

Mineralne tvari ovise o udjelu ljuske pšenice a njihov raspon kreće se od 1,4 – 2% računato na 14% vlage. Upravo na temelju udjela mineralnih tvari određuju se tipovi brašna.

**Kemijski sastav pšenice**

Ispitivanjem velikog broja sorata pšenice pokazalo se da je mala razlika u kemijskom sastavu iste sorte. U zrnu pšenice glavne skupine kemijskih spojeva su ugljikohidrati, proteini, lipidi i pigmenti (Hosenay, 1994).

**Tablica 1** Prosječni kemijski sastav pšeničnog zrna (Koehler i Wieser, 2013)

| Kemijski sastav | % |
|---|---|
| Proteini (Nx6,25) | 11,3 |
| Lipidi | 1,8 |
| Ugljikohidrati | 59,4 |
| Prehrambena vlakna | 13,2 |
| Minerali | 1,7 |
| Voda | 12,6 |

Postotak vlage u zrnu kreće se između 10% i 14%, a veći sadržaj je nepovoljan jer se zrna teško skladište. Masti u zrnu ima od 1,5% do 2%, i to najvećim dijelom u klici. Ugljikohidrata ima od 64% do 69%, a nalaze se uglavnom u endospermu. Škrob je glavni sastojak ekstraktivnih tvari. Od minerala u pšenici se mogu naći fosfor (50%), kalij (20% do 30%), kalcij, magnezij i ostali elementi. Kao međunarodni standard pšenice uzima se sadržaj proteina u zrnu od 13,5% (Carpenter, 1994.).

Ozima pšenica sadrži manje proteina od jare, meka manje od tvrde, brašnava manje od staklaste. Pšenice iste sorte uzgajane u aridnim područjima sadrže više proteina nego u vlažnim. Vitamina ima najviše u klici, a manje u drugim dijelovima zrna (B1, B2, E, K, PP) (Kingswood, 1994.;Ritz, 1997.).

## 2.2. TEHNOLOŠKI POSTUPCI U MLINU

Mlinarstvo je jedna od najstarijih i najvažnijih gospodarskih grana u krajevima u kojima se uzgajaju žitarice. Opći zahtjevi kakvoće za žitarice, mlinske i pekarske proizvode, tjestenine, tijesta i proizvode od tijesta koji se stavljaju na tržište odnose se:

- na tehnološke postupke koji se primjenjuju u proizvodnji i preradi
- na senzorska svojstva i sastav
- na dodatne i specifične zahtjeve deklariranja ili označivanja
- na vrstu i količinu sirovina, dodataka i drugih tvari koje se rabe u proizvodnji i preradi
- na kategorizaciju i nazivlje (Krička, Kiš i suradnici, 2012.).

Na temelju Pravilnika o žitaricama i proizvodima od žitarica (NN 81/2016) proizvodi se s obzirom na namjenu, sastav, osobine i vrste tehnološkog procesa razvrstavaju i stavljaju na tržište pod nazivom:

- mlinski proizvodi (prekrupa, krupica i brašno)
- gotovi proizvodi od žitarica
- mješavine za pekarske proizvode
- pekarski proizvodi, tjestenina, tijesto i proizvodi od tijesta i
- fini pekarski i srodni proizvodi.

Mljevenjem pšenice proizvode se različiti tipovi brašna i krupice za ljudsku prehranu, zatim sitne i krupne posije (stočna brašna i mekinje), koji se koriste kao stočna hrana. Što se tiče brašna i krupice ona se sastoje od usitnjenih čestica jezgre endosperma za razliku od stočnog brašna i mekinja koje se sastoje od ljuske i aleuronskog sloja. Uspješnost razdvajanja dijelova ovisi o pšenici, uređaju na kojemu se provodi mljevenje te samom načinu vođenja tehnološkog procesa pripreme i mljevenja.

Postupak prerade pšenice odvija se u tri faze:

- priprema,
- mljevenje,
- miješanje i homogenizacija.

Priprema zrna pšenice podrazumijeva izdvajanje različitih primjesa od zrna. Slijedi tretiranje sa vodom i toplinom kako bi oslabile veze između dijelova zrna. Slijedi mljevenje zrna, gdje se prvo

vrši razdvajanje zrna na osnovne dijelove tj odvaja se endosperm od omotača. Druga faza bazira se na usitnjavanju krupice i odvajanju endosperma od preostalih dijelova ljuske. U finalnoj fazi se melje krupica do finalnog proizvoda, brašna. Miješanjem i homogenizacijom se miješaju više vrsta brašna u mješavinu zadanih svojstava.

Svaka žitarica prije mljevenja mora se očistiti od primjesa, površinski obraditi i kondicionirati. Čišćenje služi uklanjanju primjesa koje negativno utječu na postupak mljevenja i pecivost (Cauvain i Young, 2006). Takve primjese ne pripadaju zdravstveno ispravnoj i besprijekornoj frakciji zrna. Pod površinskom obradom smatra se uklanjanje nečistoće s površine zrna, uključujući i odvajanje dijela omotača sa zrna žitarice. Kondicioniranjem se poboljšava struktura zrna za lakše mljevenje i uspješnije odvajanje omotača od endosperma.

Prerada žitarica za ljudsku prehranu u mlinu odvija se u četiri osnovna pravca:

- ljuštenje radi dobivanja oljuštenih žitarica,
- mljevenje radi dobivanja brašna, krupice i sporednih proizvoda,
- hidrotermička obrada za dobivanje odgovarajuće kakvoće instant-žitarica i žitnih prerađevina,
- frakcioniranje sastojaka zrna radi dobivanja škrobnih, bjelančevinastih i drugih dijelova žitarica s posebnim namjenama u prehrani, domaćinstvu, farmaceutskoj i kemijskoj industriji (Krička, Kiš i sur, 2012.).

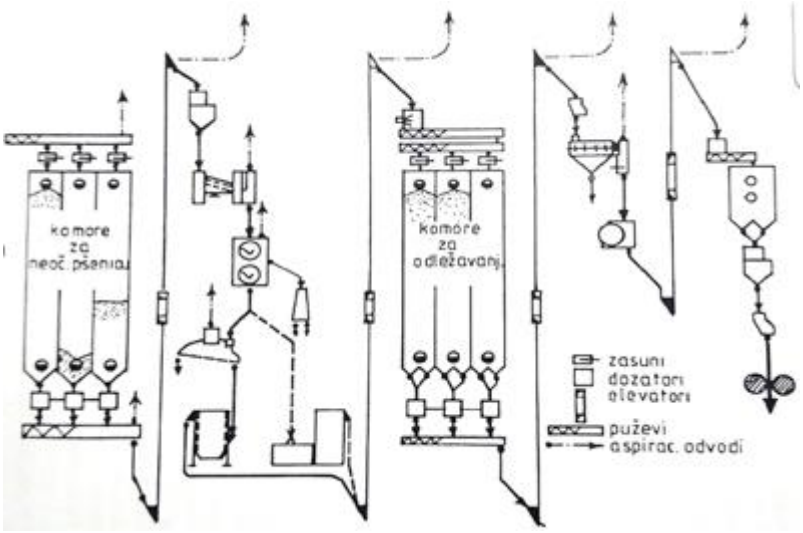
Pod pojmom usitnjavanje, odnosno mljevenje, podrazumijeva se proces dijeljenja krupnih sirovina na manje sirovine. U tom se procesu stvaraju nove površine na usitnjenim dijelovima. Sirovine koje se žele usitniti imaju različita fizikalna svojstva: veličinu, oblik, tvrdoću i ostalo (Katić, 1982.).

Usitnjavati se može na različite načine:

- lomljenjem,
- trenjem (mljevenjem),
- prešanjem,
- razbijanjem.

## 2.2.1. Priprema pšenice za mljevenje

Priprema pšenice za mljevenje odvija se u mlinskoj čistionici. Uglavnom je to zgrada u kojoj se nalaze strojevi za crno čišćenje, strojevi za bijelo čišćenje, uređaji koji dodaju vodu pšenici, oprema za transport te komore za odležavanje.




1 Protočna vaga
2 Mlinski aspirator
3 Trijer
4 Izdvajač kamena
5 Spiralni trijer
6 Mokra ribalica
7 Kombinirana praonica
8 Kvasilica
9 Magnet
10 Ribalica
11 Četkalica
12 Zamagljivač
13 Protočna vaga
14 Magnet

| PRIPREMA SMJESE ZA MLJEVENJE | CRNO ČIŠĆENJE | PRVO KODICIONIRANJE | BIJELO ČIŠĆENJE | DRUGO KODICIONIRANJE |
|---|---|---|---|---|

**Slika 3** Shema pripreme pšenice za mljevenje

Proces započinje dopremom pšenice u mlin. Dopremljena pšenica se ubacuje u komore za neočišćenu pšenicu. Važno je poznavati kvalitetu pšenice što se određuje uzimanjem uzoraka pomoću sondi te analiziranjem uzoraka tijekom prijema pšenice. Ispod komora se nalaze dozatori koji reguliraju istjecanje pšenice koja odlazi na čišćenje. Crnim čišćenjem započinje čišćenje pšenice. Provodi se uklanjanje primjesa te površinska obrada suhog zrna. Primjese se izdvajaju na temelju fizikalnih svojstava zrna pšenice i primjesa kao što je debljina, širina, dužina, aerodinamičke osobine, različiti koeficijenti trenja i različita magnetska svojstva. Razdvajanje po debljini čestica koristi sito od perforiranog lima s duguljastim otvorima. Ukoliko je zrnu debljina manja od otvora na limu ono propada kroz sito. Iz aspiratora pšenica odlazi na trijer gdje se izdvajaju primjese koje su kraće ili duže od samog zrna pšenice. U trijerima se nalaze cilindri s

različitim veličinama koji su povezani serijski te prvo izdvajaju duguljaste primjese, a nakon njih kratke primjese. Pod pojmom kratke primjese smatraju se lomljena zrna i okrugla korovska sjemenja koja se izdvajaju pomoću spiralnih trijera. Duguljaste primjese su "neovršena" zrna koja su propala kroz sito. Općenito, duguljaste primjese kao i korovsko sjemenje nema nikakav značaj i vrijednost stoga se ona bacaju. Nakon aspiratora i trijera u zrnenoj masi se nalaze teške primjese koje trijeri nisu mogli izdvojiti kao što su zemlja, kamenčići i komadi metala. Za izdvajanje takvih primjesa mogu se koristiti praonice pri čemu se zrnena masa prvo propušta kroz suhu ribalicu gdje se odvoje površinske nečistoće bilo organskog ili anorganskog podrijetla, zaostala pljevica i sl. Isto tako može se koristiti i mokra ribalica gdje prethodno odlazi na uređaj za izdvajanje kamenja, a nakon toga na mokru ribalicu gdje se s površine skinu nečistoće, a djelomično se na taj način ovlaži zrno. U nastavku su navedeni strojevi za izdvajanje primjesa.

#### 2.2.1.1. Strojevi za izdvajanje primjesa

**Mlinski aspirator**

Mlinski aspirator izdvaja primjese na temelju veličine i aerodinamičkih osobina čestica. Na temelju veličine koje izdvoji aspirator razlikuju se krupne i sitne čestice. Mlinski aspirator ima dva sita pri čemu gornje ima velike otvore na kojoj se izdvajaju krupna zrna, dok na donjem situ koje ima manje otvore propadaju sitna i štura zrna, pijesak, sitno kamenje. Količina očišćene pšenice ovisi o samoj vlazi pšenice kao i količini primjesa. Kako bi čišćenje bilo još učinkovitije aspiratoru se dodaje aspirator s recirkulacijom zraka.

**Izdvajač kamena**

Princip rada temelji se na razlici u trenju i aerodinamičkim svojstvima pšeničnog zrna i kamenja, metala, stakla istih veličina koji se nisu mogli odvojiti na mlinskom aspiratoru.

**Cilindrični trijer**

Cilindrični trijer ima zadatak izdvojiti primjese koje se svojom dužinom znatno razlikuju od pšenice. Trijeri se dijele na sporohodne, brzohodne i ultra, ovisno o brzini okretanja cilindra.

Cilindrični trijeri mogu izvući 85 - 90% svih primjesa koje se treba izdvojiti po obliku džepova (Krička, Kiš i sur.,2012.).

**Suha ribalica**

Općenito, tijekom pripreme pšenice za mljevenje, zrno se površinski obrađuje u suhoj ribalici. Na zrnu se nalaze različite nečistoće organskog i anorganskog podrijetla kao i zaostala pljevica, insekti, međutim ponekad se mogu razviti kolonije mikroorganizama. Čišćenjem površine zrna smanjiti će se udio pepela kao i eventualno razvijeni mikroorganizmi. Princip se temelji na trenju zrna o brusnu čeličnu ili mineralnu površinu pri čemu se odstranjuju gore navedene nečistoće.

**Magnetski odvajač**

U pšenicu mogu dospjeti komadići metala iz raznih izvora, a ponekad i iz same opreme kao što su neka pločica, matica i slično. Metalne čestice mogu napraviti veliku štetu na strojevima s udaračima i plaštem, kao i u mlinu, gdje mogu oštetiti mlinske valjke, a potom rasparati svilu (Krička, Kiš i sur.,2012.).

Tijekom odvajanja primjesa od zrna kao i tijekom površinske obrade zrna u mlinskoj čistionici nastaje puno prašine koja se svakako treba ukloniti. Uklanjanje prašine provodi se pomoću aspiracije koja se postavlja u svim dijelovima mlinske čistionice u kojoj nastaje velika količina prašine. Kako bi aspiracija bila uspješna, potrebno je u mlinskoj čistionici osigurati dovoljnu količinu svježeg zraka.

U aspiracijskim cijevima mora biti takva brzina zraka da spriječi taloženje prašine. Brzina zraka u vertikalnim aspiracijskim cijevima ne smije biti manja od 12 do 13 m/s, a u horizontalnim cijevima oko 15 m/s. Bolji se rezultati izdvajanja lakih primjesa i sakupljanja prašine dobiju ako se svaki stroj pojedinačno aspirira s vlastitim ventilatorom zbog povoljnijeg rasporeda potrebne količine zraka (Krička, Kiš i sur.,2012.).

### 2.2.1.2. Kondicioniranje pšenice

Jedan od zadataka pripreme pšenice za mljevenje je kondicioniranje koje se sastoji od vlaženja i odležavanja zrna. Cilj kondicioniranja odnosno samog vlaženja je da se tijekom mljevenja lakše odvoji omotač od zrna. Vlaženjem će omotač zrna biti žilaviji, a jezgra će omekšati što će olakšati mljevenje zrna, a time i doprinijeti većoj količini brašna. Općenito treba naglasiti da će se dodana količina vode s površine upiti u unutrašnjost zrna. Vrijeme potrebno za upijanje vode ovisi o vrsti zrna te temperaturi okoline. Kod staklastih zrna proces je puno sporiji što će produžiti i samo vrijeme odležavanja zrna. Upijanje vode provodi se u tri faze:

1. faza bazira se na vlaženju omotača, aleuronskog sloja i klice. Od 3-5% vode upije omotač i klica. Dodaje se veća količina vode kako bi se upilo što više vode.
2. faza: voda prodire do endosperma i njegove unutrašnjosti što dovodi do rastresitosti strukture endosperma i smanjuje samu staklavost presjeka endosperma. Sam proces traje od 5 do 16 sati što ovisi o tipu zrna, prvenstveno staklavosti. Suprotno tome, brašnasta zrna će puno brže upiti vodu.
3. faza završava kada se voda ravnomjerno rasporedi po cijelome zrnu.

Najveće promjene tijekom kondicioniranja su promjene tehnoloških karakteristika zrna. Kondicioniranjem se povećava postotak izbrašnjavanja, međutim i boja brašna je svjetlija jer nema usitnjenih dijelova omotača. Razlikujemo toplo, hladno i brzo kondicioniranje. Hladno kondicioniranje temelji se na dodavanju točno određene količine vode te slijedi odležavanje, no dodavanje vode se može provoditi dva puta, odnosno dodaje se jedan dio vode te slijedi odležavanje, a nakon odležavanja doda se preostala količina vode. Toplo kondicioniranje se provodi u posebnom uređaju gdje se mogu regulirati temperatura i tlak. Brzo kondicioniranje je slično toplom kondicioniranju osim što se zagrijavanje vrši pomoću vodene pare. Vlaženje zrna provodi se u automatiziranim uređajima. Na temelju vrste žitarice i njene vlažnosti određuje se potrebna količina vode koja se dodaje u pužni uređaj te se ona ravnomjerno raspoređuje po cijeloj površini zrna.

Uređaj se sastoji od mjerača protoka zrna koji registrira količinu zrna koja se priprema za mljevenje. Ispod mjerača protoka nalazi se sonda za registriranje vlažnosti. Mjerač je povezan sa računalom koji izračunava količinu vode koju treba dodati prema formuli:

$$\Delta W = Q * \frac{W_K - W_U}{100 - W_U} \left[\frac{1}{h}\right] \quad (1)$$

gdje je:

*Q* - protok pšenice koje je registriran na automatskom mjeraču i koji odgovara kapacitetu pripreme pšenice za mljevenje (kg/h),

$W_K$ - zadana vlažnost koju zrno treba da imati nakon odležavanja, a koja se određuje na bazi karakteristika zrna (%),

$W_U$ - ulazna vlaga pšenice koju je registrirao automatski mjerač vlage (%) (Žeželj, 2005.).

Na temelju izračunate količine vode ona se dodaje zrnenoj masi pri čemu se pomoću lopatica puža ravnomjerno raspoređuje voda po cijelome zrnu. Nakon vlaženja navlažena pšenica propada u puž iznad komora za odležavanje. Kod šaržnog odležavanja potrebno je imati više komora za odležavanje koje odgovaraju kapacitetu mlina i vremenu odležavanja.

$$V_n = Q * \gamma * \tau = V * n \quad (2)$$

gdje je:

*Vn* – ukupni volumen komora za odležavanje ($m^3$),

*V* - volumen jedne komore ($m^3$),

*Q* - kapacitet mlina (t/h),

*γ* - nasipna gustoća pšenice u toku odležavanja (t/m3),

*τ* - vrijeme odležavanja (h),

*n* - broj komora za odležavanje (Žeželj, 2005.).

Što je više komora to je lakše pridržavati se potrebnog vremena odležavanje. S manjim brojem komora pšenica bi duže ili kraće vrijeme odležavala što na kraju može negativno djelovati na efekt mljevenja.

Završnim kondicioniranjem zrno se vlaži ispred prvog krupača i kratkotrajno odležava 20 - 30 min. Dodaje se oko 0,5% vode pomoću različitih uređaja, kao na primjer pomoću uređaja sa sapnicom koji vodu izbacuju pod visokim tlakom. Zrno postaje žilavo, plastično i otporno na usitnjavanje

što omogućava lakše odvajanje omotača u procesu krupljenja. Slijedi bijelo čišćenje odnosno ljuštenje gdje je zrno izloženo naprezanjima između radnih elemenata ljuštilice i dolazi do odstranjivanja tankog sloja omotača zrna. Princip ljuštenja zrna može se provoditi jednokratnim ili višekratnim udarom zrna o brusnu površinu, intenzivnim trenjem zrna o brusnu površinu kao i zrna o zrno. Upravo taj tanki sloj odstranjuje dio prisutnih mikroorganizama kao i ostale prisutne nečistoće. Skidanjem sloja omotača smanjuje se sadržaj pepela u pšenici. Dodatna faza hidrotermičke obrade zrna je zamagljivač. Zamagljivač se koristi za vlaženje zrna neposredno prije mljevenja pšenice. Ljuska zrna dodatno očvršćuje kako se ne bi drobila prilikom mljevenja, raspršuje se od 0,3 do 0,5% vode i nakon toga zrno odležava 15-20 minuta.

#### 2.2.1.3. Sporedni proizvodi mlinske čistionice

Pod pojmom sporedni proizvodi smatraju se: izdvojene primjese, otpadna voda i prašina. One nemaju nikakvu vrijednost već samo predstavljaju štetu za okoliš. S toga ih je potrebno ukloniti, kao na primjer pročišćavanjem otpadnih voda, zraka, ali i uništavanjem bezvrijednih primjesa. Otpadne vode su zagađene organskim materijalima koji su skloni raspadanju i mogu štetiti okolišu, pa se upravo zbog toga otpadne vode moraju pročistiti prije nego ih se ispusti u vodotokove. Mokre ribalice sadrže još veće količine otpadnih voda, s toga je također potrebno pročišćavanje. Općenito neke mlinske čistionice ne provode pranje pšenice zbog veće potrebe za financijskim sredstvima. Prašina također predstavlja problem, ponajviše za radnike u mlinu, stoga se njeno smanjivanje provodi ugradnjom filtera koji usisavaju prašinu i smanjuju njeno štetno djelovanje, kako za ljude, tako i za okoliš.

### 2.2.2. Usitnjavanje i razvrstavanje usitnjenog materijala

To je osnovna operacija u procesu mljevenja pšenice. Pomoću mlinskih valjaka vrši se usitnjavanje pšenice. Usitnjavanje se provodi djelovanjem različitih sila kao što su sila smicanja, pritiska i dr. gdje dolazi do usitnjavanja dijelova zrna. Proces mljevenja sastoji se od tri faze: krupljenje, razvrstavanje usitnjenog materijala te izmeljavanje.

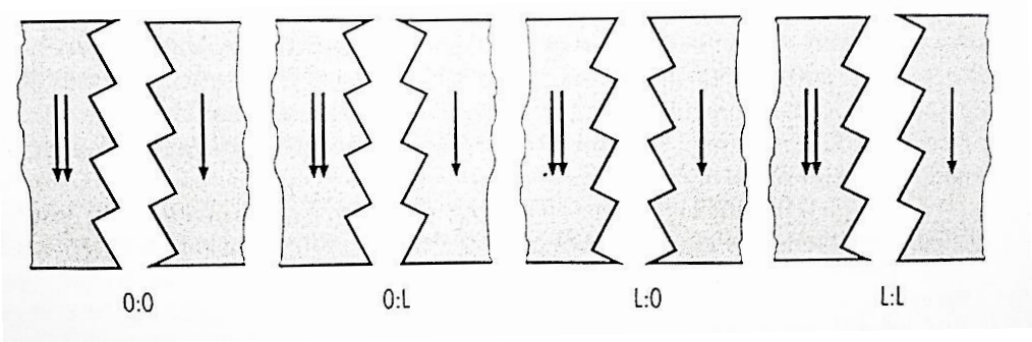
**Valjne (valjčane) stolice** strojevi su s pomoću kojih se pšenično zrno otvara kako bi se odvojila jezgra od ljuske i nakon toga usitnila na određenu granulaciju. Dijelovi valjne stolice su:

- kućište,
- valjci,
- hranilica,
- uređaj za podešavanje razmaka između valjaka,
- pogon.

Mlinski valjak je osnovni uređaj u mlinu za pšenicu pomoću kojeg se vrši usitnjavanje u svim fazama procesa mljevenja. Razlikujemo žlijebljene i glatke valjke. Žlijebljeni služe za otvaranje zrna te čišćenje mekinja i mljevenje okrajaka, dok glatki trupci služe za usitnjavanje materijala. Broj žljebova, oblik i nagib žlijeba ovisi o namjeni valjka. Svaki valjak ima oštru stranu žlijeba (O) koji zatvara kut α dok leđa žlijeba (L) zatvaraju kut β.

Žlijebljeni valjci se međusobno mogu postavljati u 4 položaja:

- O/O (daje najviše krupice),
- O/L (1. valjak za krupljenje),
- L/O (daje najviše brašna),
- L/L ( rijetko se koristi).




**Slika 4** Mogućnosti sparivanja valjaka (Žeželj, 2005.)

Brašno je najčistije kad se žlijebljeni valjci spare u položaj leđa-leđa, međutim tada se dobiju krupne mekinje. Svaki mlin odredi položaj žlijebljenih valjaka s obzirom kakvo brašno želi dobiti. Pomoću uređaja hranilice ravnomjerno se kontinuirano dozira materijal po cijeloj dužini valjaka

tako da se ujednačeno usitnjava materijal. Hranilice se nalaze na ulazu materijala u valjnu stolicu. Upravo hranilice sprječavaju da u valjnim stolicama nestane materijala koje dovodi do oštećenja valjaka. Za skidanje zalijepljenih čestica na valjcima ugrađuju se četke. Također, zbog trenja između valjaka i zrna, valjak se zagrijava te ga je potrebno hladiti, bilo da voda dospijeva u unutrašnjost valjka ili se u većini slučajeva koristi zrak koji kontinuirano struji i ima ulogu odnošenja vodene pare koja isparava iz materijala tijekom usitnjavanja.

**Krupljenje** je prva faza mljevenja i odvija se na valjcima za krupljenje koji su žlijebljeni i oni otvaraju zrno. Ima 5 do 6 krupača sa žlijebljenim valjcima u redoslijedu. U pravilu s petim krupačem završava faza krupljenja, ali ako se traži visoki stupanj izbrašnjavanja, naročito kod zrna s lošim mljevnim osobinama, potrebno je uključiti i šesto krupljenje.

Prvi krupač je žlijebljeni valjak kojemu je zadaća da zrno što bolje otvori i oslobodi od omotača, a da ga pri tome što manje usitni. Materijal prvog krupača se razvrstava po krupnoći na planskome situ na 5 do 6 frakcija. Na situ kod prvog krupljenja zaostaje brašno tamnije boje koje se svrstava u crna brašna. Slijedi drugi krupač kojemu je zadatak izdvojiti što više endosperma u što krupnijim česticama. Proizvodi drugog krupača su griz, okrajci, maglica i brašno. Brašno je puno čišće s niskim sadržajem pepela te se najčešće skuplja u bijela brašna. Zadatak trećeg krupača je skinuti zaostali endosperm s prijelaza drugog krupača. Postoji razlika u krupnoći materijala stoga je podijeljen na treći grubi i treći fini krupač. Često se poslije trećeg krupača postavljaju vrgači koji vrše otresanje prijelaza. Nakon krupljenja dobiva se materijal koji je krupan, srednji ili sitni proizvod koji se spaja sa proizvodima prvog i drugog krupljenja ili odlaze na čistilice krupica. Četvrti krupač dalje skida zaostali endosperm sa omotača, i s obzirom da je sloj vrlo tanak valjci se spajaju u stanje O/L (oštrica-leđa). Nakon četvrtog krupljenja dobiva se vrlo malo brašna koje je tamne boje i sadrži puno pepela. Slijedi peti krupač koji je u većini mlinova posljednja faza krupljenja. Slijedi usitnjavanje krupice i okrajaka što je središnja faza mljevenja. Cilj je da se okrajci i krupica usitni na posebnim valjcima. Većinom se za usitnjavanje krupice koriste glatki dok se za okrajke koriste žlijebljeni valjci (Žeželj 2005.).

Čestice koje se dobiju usitnjavanjem zrna pšenice na valjcima razlikuju se po veličini, obliku i sastavu. Što se tiče sastava usitnjenog materijala ono može sadržavati čisti endosperm, čisti omotač ili endosperm s dijelovima omotača. Ukratko, usitnjena zrnena masa je heterogena

smjesa koju je potrebno razdvojiti. Krupljenjem se dobije više proizvoda i poluproizvoda koji odlaze na daljnju preradu:

- posije (najkrupniji poluproizvod nepravilnog oblika koji sadrži puno omotača a malo endosperma),
- krupica (poluproizvod veličine 300 do 1100 µm koji se dobiva iz endosperma, a može biti krupna, srednja i sitna),
- okrajci i osjevci (sadrže endosperm i omotač).

Razvrstavanje proizvoda usitnjavanja prema veličini i obliku provodi se na planskim sitima, a razvrstavanje prema sastavu na čistilicama krupica. Nakon svakog krupljenja se mlivo transportira do planskih sita.

**Planska sita**

Na planskim sitima vrši se kružno kretanje materijala po situ. Kako bi se ostvarilo kretanje materijala po sijaćem tkivu, sito mora biti pod određenim brojem okretaja (200-210 o/min).



**Slika 6** Planska sita

Ukoliko je broj okretaja veći, sijaće tkivo će prebrzo kliziti ispod materijala, u suprotnom materijal će ležati na situ. Ram se sastoji od drvenog okvira u koji je dodan još jedan drveni ram s prišivenim sijaćim tkivom. Sita se slažu jedna iznad drugog, najčešće od 9 do 13 ramova. Pogonski

mehanizam je elektromotor. Ispod većeg rama dakle na dnu većeg okvira nalazi se žičana prevlaka. Između žičane prevlake i sijaćeg tkiva nalazi se prostor u kojemu se nalaze materijali za čišćenje koji se zajedno sa sitom pomiču po donjoj površini i tako čiste otvore sita odnosno sprječavaju začepljenje sita.

**Čistilice krupice**

Čišćenje krupica (razvrstavanje po sastavu) vrši se na čistilici krupice koja radi na principu razdvajanja prema aerodinamičkim osobinama. Materijal je izložen struji zraka, koja najlakše čestice podiže na površinu sloja materijala. Okrajci kao lakši se zadržavaju na površini sijaćeg tkiva kao prijelaz, a čestice krupice kao najteže propadaju kroz otvore sita. Postoje četiri frakcije na čistilicama krupice: propad (očišćena krupica), prijelaz (okrajci koji se vode dalje na preradu), prelet (lake čestice koje odlaze sa strujom zraka u taložnik) i odlet (najsitnije čestice koje odlijeću sa strujom zraka i talože se u filteru).

**Izmeljavanje** je posljednja faza u procesu mljevenja kojemu je zadaća da usitni mlivo do određene veličine čestica brašna. To se postiže pomoću glatkih valjaka. Na prvo izmeljavanje dolaze najveće čestice poput krupice i osjevaka. Cilj izmeljavanja je da se dobije što veća količina usitnjenih čestica odnosno brašna. Razmak između valjaka se od prvog do zadnjeg smanjuje, zbog čega se proizvodi s pojedinih meljača razlikuju po veličini i kvaliteti pa sve do posljednjeg izmeljavanja gdje se kao prijelaz dobije stočno brašno kao gotov proizvod.

**Vrgači** (otresivači) mekinja su posebna skupina rotacijskih sita čija je zadaća da izdvoje sa omotača zna zaostale dijelove endosperma. Mekinje dospijevaju u cilindar gdje ih lopatice rotora kružno okreću i udaraju o zid cilindra. Na taj način endosperm se skida i propada kroz otvore cilindra, dok posije odlaze kao prijelaz. Vrgači se primjenjuju tijekom krupljenja. Mogu biti horizontalni ili vertikalni a primjena vibracija postiže bolji efekt.

**Detašeri** (rastresilice) su pomoćni strojevi koji razbijaju prešane listiće brašna. Materijal kojim se stroj hrani ulazi direktno u cilindar s rotorom. Rotor se sastoji od četiri udarača koji bacaju

materijal na unutarnju površinu plašta i istovremeno ga transportiraju prema izlazu. Ovi strojevi su lako prilagodljivi prostoru jer imaju male zahtjeve za smještaj (Kljusurić 2000.).

**Transport materijala u mlinu**

Mlivo koje se dobiva mljevenjem na valjnim stolicama i svi drugi materijali koji dođu na najnižu razinu na svom tehnološkom putu moraju se transportirati na gornju etažu. Za transport mliva vertikalno prema gore koristi se oprema za vertikalni transport. Za transport prema dolje koriste se protočne cijevi kroz koje mlivo slobodno pada. Protočne se cijevi zbog svog kosog položaja često zovu i kose cijevi. Za transport u mlinovima koriste se pneumatske cijevi izuzev sabirnih puževa za brašno (Kljusurić 2000.).

## 2.3. LABORATORIJSKO MLJEVENJE PŠENICE

Laboratorijsko mljevenje pšenice provodi se s ciljem da bi se odredila njezina mlinska kvaliteta, ali i u svrhu dobivanja uzoraka brašna potrebnih za provođenje različitih fizikalno-kemijskih analiza i reoloških ispitivanja. U laboratorijima za ispitivanje kvalitete žitarica i brašna se uglavnom, kako kod nas tako i u svijetu, pored Bühler-ovog MLU-202 mlina koriste i Brabender-ovi Quadrumat junior i Quadrumat senior mlinovi.

### 2.3.1. Laboratorijski mlin MLU-202 (Bühler)

Prikupljeni uzorci pšenice se melju s ciljem da bi se odredila njezina mlinska kvaliteta, količina dobivenog brašna kao i nebrašnastih komponenti (posija). Na temelju količine dobivenog brašna može seprocijeniti mlinarska kvaliteta pšenice. Što je kvalitetnija pšenica, odnosno kvaliteta određene vrste pšenice, to će se dobiti veća količina brašna. Ovaj mlin Laboratorijski mlin daje povratne informacije na manjim količinama uzoraka pšenice. Upravo Bühler-ov mlin se najčešće koristi u mlinovima za procjenu kvalitete i svojstava pšenice jer svojom konstrukcijom i procesom meljave može približno simulirati proces mljevenja u industrijskom mlinu i vrlo dobro predvidjeti postotak izbrašnjavanja pšenice. Mlin se sastoji od 6 mlinskih odjeljaka, odnosno od tri glatka i tri nazubljena valjka. Najveća količina uzorka koju mlin može primiti je oko 5 kg uzorka pri čemu

se može namjestiti brzina dotoka zrna. Nakon provedenog mljevenja dobije se određena količina brašna, sitnih i krupnih posija (stočnog brašna i mekinja). Na dobivenim uzorcima vrše se daljnje fizikalno-kemijske analize i reološka ispitivanja.



**Slika 7** Bühler-ov MLU-202 laboratorijski mlin (vlastiti izvor)

### 2.3.1. Laboratorijski mlinovi Quadrumat (Brabender)

Pored Bühler-ovog MLU-202 mlina često se za laboratorijsko mljevenje koriste i Brabender-ovi mlinovi: Quadrumat junior i Quadrumat senior. To su precizni laboratorijski mlinovi s valjcima za mljevenje žita u svrhu dobivanja uzoraka brašna za naknadne analize. Daje laboratorijska brašna koja su skoro jednaka komercijalno proizvedenim brašnima i to prema sadržaju pepela, prinosu i pekarskoj kvaliteti. Prikladan je za pšenicu ali i za pir, raž, ječam i rižu.

Pšenica se melje prolaskom između četiri valjka koji su tako postavljeni da formiraju tri prolazišta, a mlivo se prosijava kroz sito. Quadrumat junior koristi cilindrično sito, a Quadrumat senior plansko sito koje se sastoji od 13 ramova (6 sita i 7 sabirnih podloga). Quadrumat junior ima jedan, a Quadrumat senior dva, kompleta po četiri valjka – jedan sa žlijebljenim, a drugi sa glatkim

valjcima. Kao produkt mljevenja dobivaju se dva brašna ( A brašno sa nižim i B brašno s višim sadržajem pepela) i mekinje (Kaluđerski i Filipović 1998.).



**Slika 8** Brabender-ovi mlinovi Quadrumat junior i Quadrumat senior (Web3)

# 3. EKSPERIMENTALNI DIO

## 3.1. ZADATAK

Zadatak rada bio je ispitati utjecaj osnovnih fizikalno-kemijskih svojstava zrna različitih sorti ozime pšenice na postotak izbrašnjavanja, kao i na udjele pojedinih frakcija krupice, brašna i posija dobivenih pomoću laboratorijskog mljevenja pšenice.

## 3.2. MATERIJALI

U istraživanju je korišteno 30 uzoraka različitih sorti ozime pšenice roda 2017. godine zasijanih na dvije lokacije: osječko i zagrebačko područje.

## 3.3. METODE

### 3.3.1. Određivanje fizikalno-kemijskih svojstva pšeničnog zrna

#### 3.3.1.1. Određivanje vlage zrna

Vlaga zrna određena je pomoću vlagomjera PFEUFFER HE 50 (Pfeuffer, Njemačka) koji radi na principu mjerenja dielektrične konstante.

#### 3.3.1.2. Određivanje udjela mineralnih tvari (pepela) u pšeničnom zrnu i brašnu

Udio mineralnih tvari određen je prema standardnoj metodi ISO 2171. Pšenično zrno je prethodno usitnjeno na laboratorijskom mlinu IKA MF 10 (IKA, Njemačka) s otvorima sita od 1 mm. Metoda se temelji na spaljivanju uzorka brašna. Uzorak se ravnomjerno stavlja u prethodno ižarene i odvagane posudice. Spaljivanje se provodi sve do potpunog ugljeniziranja. Za ravnomjerno spaljivanje u posudice se stavlja 1 – 2 $cm^3$ etanola. Kako sadržaj posudice ugljenizira na početnom dijelu mufolne peći, pažljivo se pomoću hvataljke unosi u muflonu peć zagrijanu na 900 ± 20 °C. Nakon izgaranja, posudica se vadi iz peći te se hladi 1 minutu na termorezistentnoj ploči, a nakon toga se stavlja u eksikator u kojem se ohladi do sobne temperature. Zbog higroskopnosti pepela, uzorak se brzo važe, s točnošću 0,0001 g. Zagrijavanje, hlađenje i vaganje ponavljaju se dok se ne dobije konstantna masa odnosno dok razlika dvaju uzastopnih vaganja između dodatnog spaljivanja (za vrijeme od 1 h) ne bude veća od 0,0002g. Količina dobivenog pepela izražava se u postotcima na suhu tvar.

### 3.3.1.3. Određivanje vlage pšeničnog zrna i brašna

Vlaga uzoraka određena je prema standardnoj metodi ISO 712. Metoda se temelji na sušenju uzorka pri 130 °C kroz 90 min.

### 3.3.1.4. Određivanje nasipne gustoće (hektolitarske mase) žita

Hektolitarska masa određena je prema standardnoj metodi ISO 7971-2. Korištena je Schopperova vaga, volumena 1 l, s pripadajućim dijelovima i opremom. Hektolitarske vaga se nakon provjere točnosti sastavi prema uputi navedenoj u standardu i provodi se mjerenje na uzorcima dobivenim četvrtanjem zrnene mase. Otprilike s udaljenosti od 4 cm od vrha cilindra zrnena masa iz cijevi sipa se brzinom tako da se cilindar napuni za približno 8 sekundi. Tijekom nasipavanja treba voditi računa da mlaz žita pada na sredinu cilindra, a žito se ne smije poravnati s rubom cilindra. Slijedi brzo izvlačenje noža pri čemu klip pada zajedno sa žitom na dno cilindra. Tada se nož ponovno uvuče u prorez, žito iznad njega se potpuno ukloni, nož se izvuče, a cilindar se važe. Masa zrna u kg se pomnoži sa 100 da bi se dobila hektolitarska masa (kg/hl). Hektolitarska masa se preračunava na vlagu od 14%, preko faktora za korekciju. Faktor za korekciju može se očitati iz tablice ili izračunati.

### 3.3.1.5. Određivanje apsolutne mase žita (mase 100 zrna)

Apsolutna masa određena je prema standardnoj metodi ISO 520. Od prosječnog uzorka se izbroji (bez odabiranja) 500 cijelih zrna i izvaže, te rezultat pomnoži s 2 i preračuna na suhu tvar.

### 3.3.1.6. Određivanje udjela proteina u pšeničnom zrnu

Udio proteina određen je prema standardnoj metodi ISO 20483 (Metoda po Kjeldahu). Metoda se temelji na određivanju udjela dušika i množenju s faktorom 5,7.

### 3.3.1.7. Određivanje sedimentacijske vrijednosti prema Zeleny-u

Sedimentacijska vrijednost određena je prema standardnoj metodi ISO 5529. Metoda se temelji na sposobnosti proteina glutena da bubre pod utjecajem mliječne kiseline. Ovom metodom se određuje relativna snaga glutena pšeničnog brašna.

### 3.3.1.8. Određivanje staklavosti pšeničnog zrna

Određivanje staklavosti provodeno je rezanjem 100 zrna pomoću farinotoma te brojanjem potpuno (A), ¾ (B) i ½ (C) staklastih zrna.

Staklavost se izračuna prema formuli:

$$S = A + B + 1/2\ C\ (\%) \qquad (3)$$

## 3.3.2. Laboratorijsko mljevenje pšenice

Laboratorijsko mljevenje uzoraka pšenice provedeno je na laboratorijskom mlinu MLU-202 (Bühler, Švicarska) prema metodama AACC 26-10A, 26-21A, 26-31. Na Bühler-ovom laboratorijskom mlinu melje se očišćena i navlažena pšenica iz koje se mljevenjem pomoću navedenog mlina dobije brašno koje je slično brašnu iz industrijskog mlina.

**Priprema pšenice za mljevenje**

Prije samog mljevenja, pšenica se mora očistiti, odnosno ukloniti strane primjese poput kamenčića, zaostale pljevice, korovsko sjemenje i druge strane tvari. Zatim se odmjeri 3 do 5 kg uzorka pšenice. Pomoću aparata za brzo određivanje vlage odredi se vrijednost vlage u uzorku pšenice.

**Vlaženje pšenice prije mljevenja**

Pšenica koja ide na mljevenje vlaži se na 15% vlage. Vlaženje se provodi kroz dvije faze. Pšenica se prvo vlaži do 13,5%. Pšenica koja se navlaži na 13,5% vlage odležava tijekom 24 sata u

zatvorenoj posudi. Preostali dio vode dodaje se pola sata prije mljevenja na udio vlage od 15% i nakon toga pšenica odlazi na mljevenje.

Količina vode koju treba dodati izračunava se prema formulama:

Za prvo vlaženje na 13,5 % vlage:

$$Q_{13,5} = M * \frac{13,5-v}{86,5} \quad (4)$$

Za drugo vlaženje na 15 % vlage:

$$Q_{15,0} = M * \left(1 + \frac{13,5-v}{86,5}\right) * 0,0176 \quad (5)$$

gdje je:

$Q_{13,5}$ - količina vode (ml) potrebna za vlaženje pšenice na 13,5 % vlage

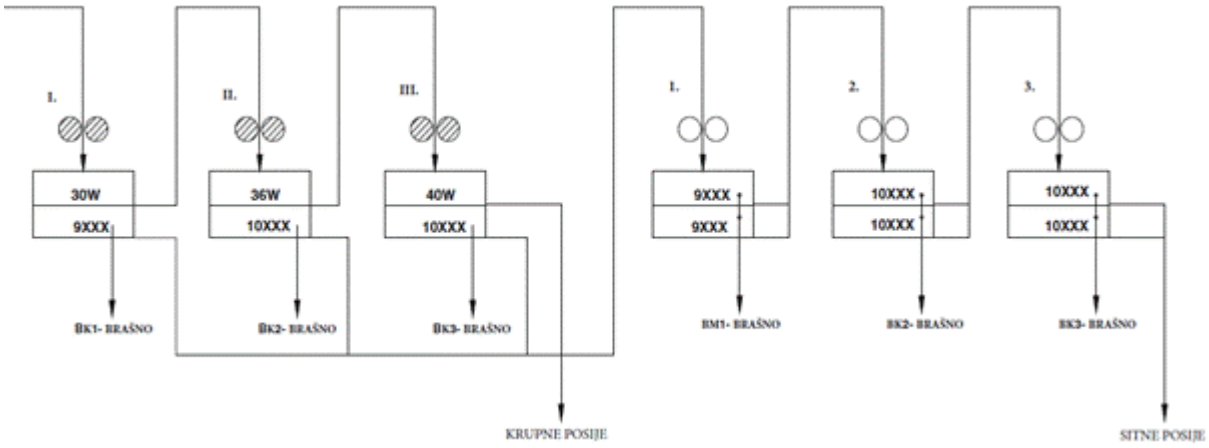
$Q_{15,0}$ - količina vode (ml) potrebna za vlaženje pšenice na 15,0 % vlage

$M$ - masa pšenice koja se melje (g)

$v$ - sadržaj vlage u pšenici

**Mljevenje pšenice**

Mljevenje uzoraka pšenice provedeno je prema shemi prikazanoj na slici 9.



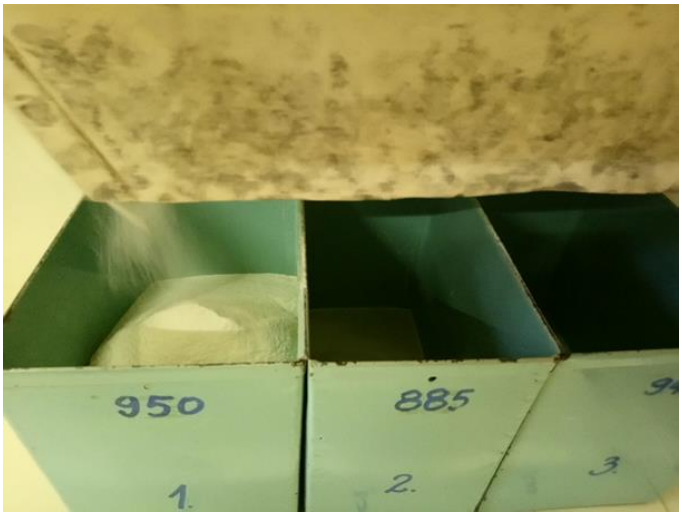

**Slika 9** Shema mljevenja na Bühler-ovom mlinu (vlastiti izvor)
(BK – Brašno krupljenja, BM – Brašno izmeljavanja, W-žičana presvlaka, XXX-svila)

**Tablica 2** Veličina otvora sita

| Oznaka | Veličina otvora (μm) |
|---|---|
| 30W | 710 |
| 36W | 600 |
| 40W | 530 |
| 9XXX | 150 |
| 10XXX | 132 |

W-žičana presvlaka, XXX-svila

Pšenica se uspe u usipni koš na mlinu, a dobivena brašna od I., II. i III. krupača te od 1., 2. i 3. mljevača prikupljaju se u metalne posude koje se nalaze na prednjoj strani mlina. Preostali dio, krupne i sitne posije prikupljaju se u posude koje se nalaze na stražnjoj strani mlina.




**Slika 10** Prikupljanje brašna od 1., .2 i 3. mljevača (vlastiti izvor)

Nakon što sva pšenica prođe kroz mlin i samelje se, mlin je potrebno ostaviti da radi kroz prazni hod oko 20 min pri čemu se pomoću gumenog čekića udara više puta po svim prolazištima kako bi se oslobodilo eventualno zaostalo brašno. Dobivena brašna i posije se važu i stavljaju u vrećice u kojima se čuvaju do daljnje analize.

Rezultati

Iskorištenje mljevenja, odnosno količina brašna dobivena jednokratnim propuštanjem pšenice kroz mlin, izražava se u postotcima, a izračunava se prema formuli:

$$IZB = \frac{BK1+BK2+BK3+BM1+BM2+BM3}{BK1+BK2+BK3+BM1+BM2+BM3+KP+SP} * 100 \quad (6)$$

gdje je:

*BK1* - količina brašna izdvojena na prvom krupaču (g),

*BK2* - količina brašna izdvojena na drugom krupaču (g),

*BK3* - količina brašna izdvojena na trećem krupaču (g),

*BM1* - količina brašna izdvojena na prvom mljevaču (g),

*BM2* - količina brašna izdvojena na drugom mljevaču (g),

*BM3* - količina brašna izdvojena na trećem meljaču (g),

*KP* - krupne posije (g),

*SP* - sitne posije (g).

Tijekom mljevenja pšenice potrebno je obratiti pažnju na mogućnost pojave sljedećih grešaka:

- nisu uklonjene sve primjese koje mogu oštetiti valjke ali isto tako dobivaju se tamnija brašna odnosno brašna sa većim udjelom pepela;
- ako se pšenica ne vlaži prije mljevenja sadržaj pepela u brašnu biti će veći;
- oštećena sita dovode do nepravilnog prosijavanja i propadanja većih čestica;
- žljebovi na valjcima mogu otupiti uslijed dugotrajnog korištenja;
- važno je da se mlin ostavi da radi kroz prazni hod gdje se pomoću gumenog čekića udara po mlinu kako bi se oslobodilo zaostalo brašno koje može povećati gubitke.

### 3.3.3. Statistička obrada rezultata

Korelacijska matrica (Pearson) dobivenih podataka i višestruka linearna regresija provedeni su upotrebom programa Statistica 13.1 (Statsoft, SAD).

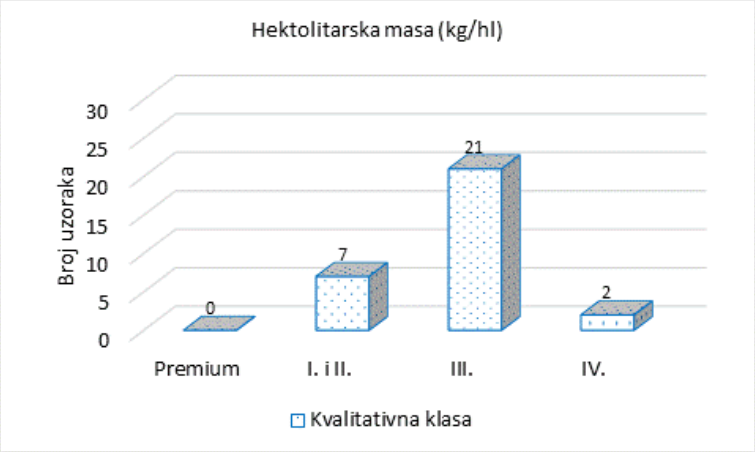
# 4. REZULTATI

## 4.1. REZULTATI FIZIKALNO-KEMIJSKIH ANALIZA I LABORATORIJSKOG MLJEVENJA PŠENICE

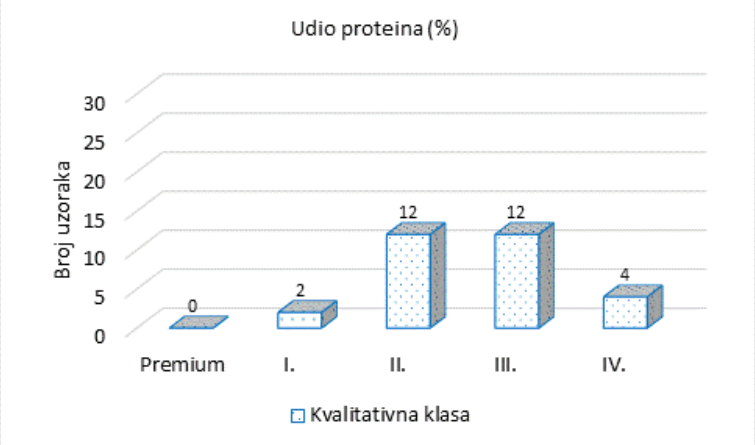
**Tablica 3** Rezultati fizikalno-kemijskih analiza

| Uzorak | PeZ (%) | HM (kg/hl) | AM (g) | PrZ (%) | SV ($cm^3$) | ST (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| S1 | 1,76 | 73,0 | 37,8 | 10,0 | 14,0 | 6 |
| S2 | 1,81 | 75,2 | 29,9 | 11,5 | 15,5 | 44 |
| S3 | 1,81 | 76,4 | 31,5 | 12,2 | 36,0 | 44 |
| S4 | 1,70 | 74,9 | 34,9 | 9,8 | 19,0 | 16 |
| S5 | 1,62 | 74,9 | 30,9 | 11,3 | 21,5 | 20 |
| S6 | 1,56 | 75,9 | 38,6 | 11,1 | 20,0 | 40 |
| S7 | 1,82 | 74,5 | 30,2 | 12,2 | 20,5 | 46 |
| S8 | 1,79 | 78,0 | 32,1 | 12,1 | 31,5 | 28 |
| S9 | 1,72 | 71,8 | 35,6 | 9,9 | 17,0 | 16 |
| S10 | 1,69 | 75,8 | 32,6 | 11,9 | 20,5 | 20 |
| S11 | 1,70 | 75,7 | 40,3 | 11,9 | 19,0 | 32 |
| S12 | 1,56 | 76,3 | 39,3 | 12,1 | 31,0 | 52 |
| S13 | 1,73 | 74,1 | 33,2 | 11,4 | 28,5 | 26 |
| S14 | 1,71 | 76,8 | 35,7 | 11,8 | 26,5 | 20 |
| S15 | 1,81 | 76,1 | 34,7 | 10,7 | 27,0 | 40 |
| S16 | 1,70 | 76,1 | 32,2 | 12,2 | 31,0 | 56 |
| S17 | 1,70 | 75,6 | 40,8 | 12,4 | 28,5 | 60 |
| S18 | 1,66 | 74,5 | 29,5 | 11,7 | 27,5 | 34 |
| S19 | 1,75 | 75,0 | 31,8 | 11,5 | 25,5 | 24 |
| S20 | 1,60 | 75,8 | 38,6 | 10,1 | 20,0 | 28 |
| S21 | 1,70 | 75,9 | 35,3 | 11,5 | 25,0 | 30 |
| S22 | 1,61 | 78,6 | 39,9 | 13,2 | 35,0 | 62 |
| S23 | 1,67 | 78,4 | 35,5 | 12,6 | 20,0 | 68 |
| S24 | 1,64 | 78,8 | 39,5 | 13,0 | 37,0 | 72 |
| S25 | 1,65 | 78,4 | 35,5 | 14,1 | 36,0 | 76 |
| S26 | 1,58 | 77,4 | 37,3 | 12,2 | 28,0 | 54 |
| S27 | 1,62 | 78,6 | 38,1 | 12,6 | 25,5 | 42 |
| S28 | 1,55 | 77,7 | 33,4 | 12,3 | 25,5 | 38 |
| S29 | 1,66 | 79,1 | 40,3 | 13,7 | 35,0 | 54 |
| S30 | 1,67 | 77,3 | 40,0 | 11,4 | 26,5 | 60 |
| $\bar{x}$ | 1,69 | 76,2 | 35,5 | 11,8 | 25,8 | 40,3 |
| SD | 0,08 | 1,76 | 3,50 | 1,02 | 6,34 | 17,98 |

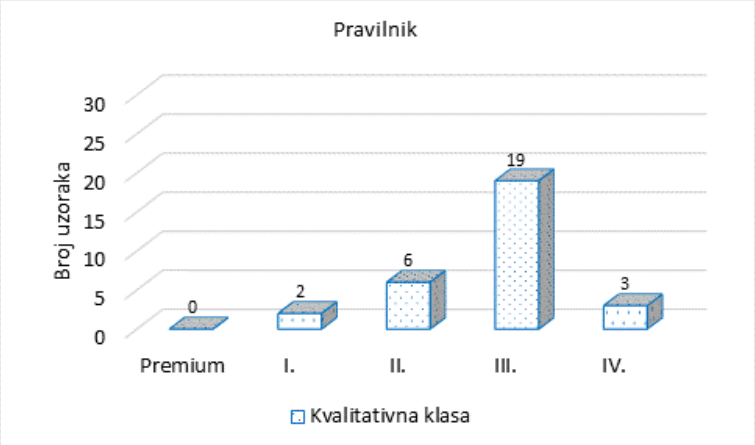
PeZ - Udio pepela u zrnu, PrZ - Udio proteina u zrnu, SV - Sedimentacijska vrijednost,
AM - Apsolutna masa, HM - Hektolitarska masa, ST - Staklavost




**Slika 11** Razvrstavanje uzoraka prema hektolitarskoj masi




**Slika 12** Razvrstavanje uzoraka prema udjelu proteina

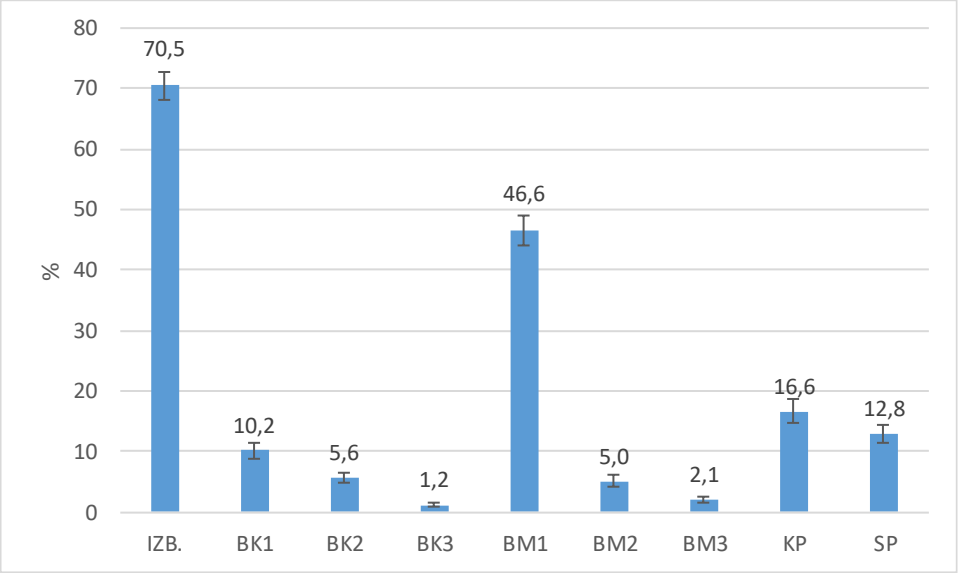



**Slika 13** Razvrstavanje uzoraka prema udjelu proteina i hektolitarskoj masi (Pravilnik)

**Tablica 4** Rezultati laboratorijskog mljevenja pšenice

| Uzorak | IZB. (%) | BK1 (%) | BK2 (%) | BK3 (%) | BM1 (%) | BM2 (%) | BM3 (%) | KP (%) | SP (%) | PeB (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S1 | 63,0 | 8,8 | 3,4 | 1,2 | 37,5 | 8,1 | 4,0 | 23,3 | 13,7 | 0,45 |
| S2 | 66,8 | 7,4 | 4,1 | 0,9 | 45,3 | 6,4 | 2,7 | 19,4 | 13,8 | 0,50 |
| S3 | 67,4 | 8,0 | 5,6 | 1,2 | 45,5 | 5,0 | 2,0 | 18,9 | 13,7 | 0,48 |
| S4 | 68,1 | 11,3 | 5,6 | 0,9 | 43,6 | 4,5 | 2,2 | 18,7 | 13,2 | 0,45 |
| S5 | 68,3 | 8,7 | 5,4 | 1,4 | 44,3 | 5,5 | 3,1 | 16,3 | 15,3 | 0,47 |
| S6 | 68,6 | 11,5 | 5,5 | 1,7 | 44,4 | 3,5 | 2,0 | 15,0 | 16,4 | 0,43 |
| S7 | 69,3 | 9,2 | 4,3 | 0,7 | 48,4 | 4,6 | 2,1 | 18,1 | 12,6 | 0,47 |
| S8 | 69,7 | 10,0 | 6,2 | 0,9 | 46,3 | 4,8 | 1,5 | 17,2 | 13,1 | 0,47 |
| S9 | 70,0 | 12,2 | 4,7 | 1,0 | 46,2 | 4,2 | 1,8 | 18,4 | 11,6 | 0,50 |
| S10 | 70,4 | 9,3 | 5,0 | 0,9 | 46,8 | 5,5 | 2,8 | 16,5 | 13,1 | 0,48 |
| S11 | 70,4 | 12,5 | 4,9 | 1,5 | 42,2 | 7,0 | 2,4 | 19,2 | 10,4 | 0,45 |
| S12 | 70,5 | 10,0 | 5,0 | 0,9 | 46,1 | 5,9 | 2,5 | 16,3 | 13,2 | 0,44 |
| S13 | 70,5 | 11,0 | 6,0 | 1,5 | 46,6 | 3,9 | 1,5 | 19,5 | 10,0 | 0,44 |
| S14 | 70,6 | 12,2 | 6,0 | 0,9 | 44,9 | 4,5 | 2,1 | 15,1 | 14,3 | 0,49 |
| S15 | 70,6 | 11,0 | 6,5 | 1,2 | 46,0 | 4,1 | 1,7 | 16,6 | 12,8 | 0,46 |
| S16 | 70,8 | 8,7 | 6,1 | 1,2 | 47,7 | 5,0 | 2,0 | 15,8 | 13,5 | 0,49 |
| S17 | 71,1 | 10,9 | 6,0 | 1,3 | 45,9 | 4,8 | 2,1 | 14,8 | 14,1 | 0,45 |
| S18 | 71,4 | 9,6 | 6,1 | 1,0 | 48,6 | 4,5 | 1,6 | 16,1 | 12,5 | 0,46 |
| S19 | 71,4 | 9,2 | 5,6 | 0,9 | 49,2 | 4,5 | 2,1 | 17,0 | 11,5 | 0,50 |
| S20 | 71,5 | 10,4 | 6,3 | 1,3 | 48,5 | 3,4 | 1,6 | 16,0 | 12,4 | 0,49 |
| S21 | 71,7 | 9,9 | 5,3 | 0,8 | 50,0 | 3,9 | 1,7 | 16,0 | 12,3 | 0,48 |
| S22 | 71,7 | 10,2 | 5,3 | 1,2 | 47,6 | 5,2 | 2,2 | 14,6 | 13,7 | 0,44 |
| S23 | 72,1 | 8,7 | 6,4 | 1,2 | 48,6 | 5,5 | 1,7 | 15,9 | 12,1 | 0,47 |
| S24 | 72,1 | 9,5 | 6,0 | 1,3 | 47,9 | 5,5 | 1,9 | 14,9 | 13,0 | 0,45 |
| S25 | 72,3 | 9,4 | 5,5 | 1,2 | 48,4 | 5,4 | 2,3 | 14,5 | 13,2 | 0,47 |
| S26 | 72,4 | 10,1 | 5,9 | 1,2 | 47,6 | 5,5 | 2,1 | 14,5 | 13,1 | 0,46 |
| S27 | 72,5 | 11,0 | 5,4 | 1,1 | 48,4 | 4,8 | 1,8 | 16,0 | 11,5 | 0,42 |
| S28 | 73,1 | 10,6 | 6,3 | 1,3 | 47,8 | 5,1 | 2,0 | 14,7 | 12,2 | 0,43 |
| S29 | 73,5 | 11,5 | 6,0 | 1,3 | 47,4 | 5,3 | 2,0 | 13,4 | 13,1 | 0,48 |
| S30 | 74,6 | 11,9 | 6,4 | 1,4 | 49,3 | 4,1 | 1,4 | 15,5 | 9,9 | 0,49 |
| $\bar{x}$ | 70,5 | 10,2 | 5,6 | 1,2 | 46,6 | 5,0 | 2,1 | 16,6 | 12,8 | 0,47 |
| SD | 2,23 | 1,28 | 0,74 | 0,22 | 2,46 | 0,98 | 0,52 | 2,04 | 1,37 | 0,02 |

IZB - Izbrašnjavanje, BK – Brašno krupljenja, BM – Brašno izmeljavanja, KP - Krupne posije, SP - Sitne posije, PeB - Udio pepela u brašnu




**Slika 14** Prosječne vrijednosti izbrašnjavanja i pojedinih frakcija mljevenja

## 4.2. KORELACIJSKA MATRICA DOBIVENIH REZULTATA ISPITIVANJA

**Tablica 5** Korelacijska matrica rezultata laboratorijskog mljevenja i fizikalno-kemijskih analiza

| | IZB (%) | BK1 (%) | BK2 (%) | BK3 (%) | BM1 (%) | BM2 (%) | BM3 (%) | KP (%) | SP (%) | PeB (%) | PeZ (%) | HM (kg/hl) | AM (g) | PrZ (%) | SV (cm3) | ST (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| IZB (%) | - | **0,388** | **0,680** | 0,111 | **0,803** | **-0,423** | **-0,679** | **-0,798** | **-0,442** | -0,006 | **-0,466** | **0,608** | 0,316 | **0,513** | **0,486** | **0,536** |
| BK1 (%) | **0,388** | - | 0,274 | 0,278 | -0,053 | -0,355 | **-0,379** | -0,225 | -0,298 | -0,241 | -0,264 | 0,022 | **0,578** | -0,164 | -0,028 | -0,152 |
| BK2 (%) | **0,680** | 0,274 | - | 0,327 | **0,528** | **-0,576** | **-0,733** | **-0,655** | -0,134 | -0,021 | -0,283 | **0,507** | 0,091 | 0,230 | **0,509** | 0,336 |
| BK3 (%) | 0,111 | 0,278 | 0,327 | - | -0,216 | -0,006 | -0,064 | -0,133 | 0,017 | **-0,374** | **-0,382** | 0,151 | **0,435** | 0,043 | 0,103 | 0,232 |
| BM1 (%) | **0,803** | -0,053 | **0,528** | -0,216 | - | **-0,587** | **-0,713** | **-0,655** | -0,334 | 0,224 | -0,205 | **0,434** | -0,115 | **0,436** | **0,433** | **0,497** |
| BM2 (%) | **-0,423** | -0,355 | **-0,576** | -0,006 | **-0,587** | - | **0,774** | **0,408** | 0,082 | -0,129 | 0,080 | 0,007 | 0,099 | 0,175 | -0,152 | 0,022 |
| BM3 (%) | **-0,679** | **-0,379** | **-0,733** | -0,064 | **-0,713** | **0,774** | - | **0,445** | **0,445** | -0,065 | 0,036 | -0,297 | -0,022 | -0,136 | **-0,374** | -0,296 |
| KP (%) | **-0,798** | -0,225 | **-0,655** | -0,133 | **-0,655** | **0,408** | **0,445** | - | -0,187 | 0,058 | **0,607** | **-0,695** | -0,301 | **-0,590** | **-0,554** | **-0,593** |
| SP (%) | **-0,442** | -0,298 | -0,134 | 0,017 | -0,334 | 0,082 | **0,445** | -0,187 | - | -0,077 | -0,143 | 0,043 | -0,067 | 0,043 | 0,032 | 0,009 |
| PeB (%) | -0,006 | -0,241 | -0,021 | **-0,374** | 0,224 | -0,129 | -0,065 | 0,058 | -0,077 | - | **0,461** | -0,224 | -0,353 | -0,164 | -0,121 | -0,126 |
| PeZ (%) | **-0,466** | -0,264 | -0,283 | **-0,382** | -0,205 | 0,080 | 0,036 | **0,607** | -0,143 | **0,461** | - | **-0,385** | **-0,484** | -0,221 | -0,154 | -0,264 |
| HM (kg/hl) | **0,608** | 0,022 | **0,507** | 0,151 | **0,434** | 0,007 | -0,297 | **-0,695** | 0,043 | -0,224 | **-0,385** | - | 0,356 | **0,768** | **0,639** | **0,686** |
| AM (g) | 0,316 | **0,578** | 0,091 | **0,435** | -0,115 | 0,099 | -0,022 | -0,301 | -0,067 | -0,353 | **-0,484** | 0,356 | - | 0,144 | 0,159 | 0,329 |
| PrZ (%) | **0,513** | -0,164 | 0,230 | 0,043 | **0,436** | 0,175 | -0,136 | **-0,590** | 0,043 | -0,164 | -0,221 | **0,768** | 0,144 | - | **0,716** | **0,756** |
| SV (cm3) | **0,486** | -0,028 | **0,509** | 0,103 | **0,433** | -0,152 | **-0,374** | **-0,554** | 0,032 | -0,121 | -0,154 | **0,639** | 0,159 | **0,716** | - | **0,608** |
| ST (%) | **0,536** | -0,152 | 0,336 | 0,232 | **0,497** | 0,022 | -0,296 | **-0,593** | 0,009 | -0,126 | -0,264 | **0,686** | 0,329 | **0,756** | **0,608** | - |

IZB - Izbrašnjavanje, BK – Brašno krupljenja, BM – Brašno izmeljavanja, KP - Krupne posije, SP - Sitne posije, PeZ - Udio pepela u zrnu, PrZ - Udio proteina u zrnu, SV - Sedimentacijska vrijednost, AM - Apsolutna masa, HM - Hektolitarska masa, ST - Staklavost
*Podebljane korelacije su statistički značajne ($p<0,05$)

## 4.3. PREDVIĐANJE POSTOTKA IZBRAŠNJAVANJA METODOM VIŠESTRUKE LINEARNE REGRESIJE

**Tablica 6** Statistički parametri prikladnosti modela

| Red. br. varijable | Varijable | MSE | $R^2$ | Korigirani $R^2$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | HM (kg/hl) | 3,365 | 0,370 | 0,347 |
| 2 | PeZ (%) / HM (kg/hl) | 3,140 | 0,433 | 0,391 |
| **3** | **PeZ (%) / HM (kg/hl) / ST (%)** | **3,107** | **0,460** | **0,397*** |
| 4 | PeZ (%) / HM (kg/hl) / SV (cm3) / ST (%) | 3,150 | 0,473 | 0,389 |
| 5 | PeZ (%) / HM (kg/hl) / PrZ (%) / SV (cm3) / ST (%) | 3,280 | 0,474 | 0,364 |
| 6 | PeZ (%) / HM (kg/hl) / AM (g) / PrZ (%) / SV (cm3) / ST (%) | 3,421 | 0,474 | 0,336 |

PeZ - Udio pepela u zrnu, PrZ - Udio proteina u zrnu, SV - Sedimentacijska vrijednost, AM - Apsolutna masa, HM - Hektolitarska masa, ST – Staklavost, MSE – srednja kvadratna greška
*najprikladniji model na osnovi korigiranog koeficijenta determinacije

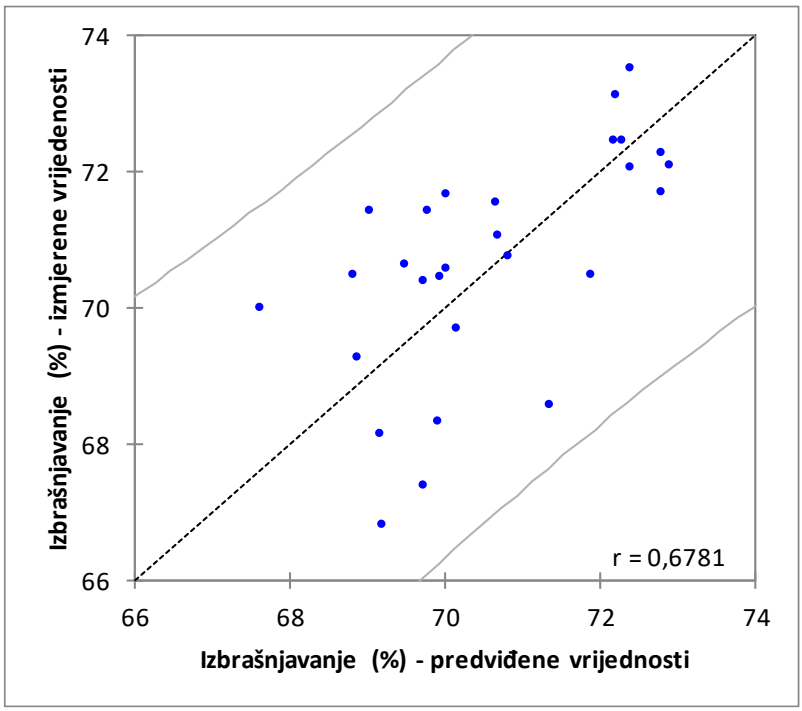
**Tablica 7** Analiza varijance

| Izvor varijacije | Stupnjevi slobode | Suma kvadrata | Srednji kvadrat odstupanja | $F_{rač}$ - vrijednost | *p* |
|---|---|---|---|---|---|
| Model | 3 | 68,7409 | 22,9136 | 7,3758 | 0,0010 |
| Pogreška | 26 | 80,7710 | 3,1066 | | |
| Ukupno | 29 | 149,5120 | | | |

**Tablica 8** Parametri modela

| Izvor varijacije | Vrijednost | Standardna greška | t | *p* | -95% | +95% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Odsječak | 48,9437 | 22,8505 | 2,1419 | 0,0417 | 1,9740 | 95,9135 |
| PeZ (%) | -7,8927 | 4,5288 | -1,7428 | 0,0932 | -17,2018 | 1,4163 |
| HM (kg/hl) | 0,4432 | 0,2625 | 1,6881 | 0,1033 | -0,0964 | 0,9828 |
| AM (g) | 0,0000 | 0,0000 | - | - | - | - |
| PrZ (%) | 0,0000 | 0,0000 | - | - | - | - |
| SV (cm3) | 0,0000 | 0,0000 | - | - | - | - |
| ST (%) | 0,0279 | 0,0246 | 1,1357 | 0,2664 | -0,0226 | 0,0784 |
| Jednadžba modela: **IZB (%) = 48,944-7,893*PeZ (%)+0,443*HM (kg/hl)+0,028*ST (%)** | | | | | | |

IZB – Izbrašnjavanje, PeZ - Udio pepela u zrnu, PrZ - Udio proteina u zrnu, SV - Sedimentacijska vrijednost, AM - Apsolutna masa, HM - Hektolitarska masa, ST – Staklavost, MSE – srednja kvadratna greška




**Slika 15** Podudarnost modelom izračunatih vrijednosti postotka izbrašnjavanja i eksperimentalnih podataka

# 5. RASPRAVA

U ovom diplomskom ispitan je utjecaj osnovnih fizikalno-kemijskih svojstava zrna različitih sorti ozime pšenice na postotak izbrašnjavanja, odnosno na iskorištenje mljevenja, kao i na udjele pojedinih frakcija krupice, brašna i posija dobivenih pomoću laboratorijskog mljevenja pšenice.

U **Tablici 3** prikazani su rezultati ispitivanja osnovnih fizikalno-kemijskih svojstava pšeničnog zrna: udio pepela u zrnu, hektolitarska masa, apsolutna masa, udio proteina u zrnu pšenice, sedimentacijska vrijednost i staklavost (struktura) zrna. Vidljivo je da je udio pepela u zrnu bio dosta ujednačen i kretao se u rasponu od 1,55 do 1,82% s prosječnom vrijednošću od 1,69%. Poznato je da sorte s manjim sadržajem mineralnih tvari uglavnom imaju i veće iskorištenje mljevenja.

Hektolitarska masa žita (**Tablica 3**) kretala se u rasponu od 71,8 do 79,1 kg/hl s prosjekom od 76,2 kg/hl. Prema Pravilniku o parametrima kvalitete i kvalitativnim klasama pšenice u otkupu pšenice roda 2018. godine (NN 46/2018) pšenica s hektolitarskom masom manjom od 74,0 kg/hl razvrstava se u IV. kvalitativnu klasu, pšenica s hektolitarskom masom od 74,0-77,9 u III., 78,0-79,9 u I. i II. klasu, a pšenica s hektolitarskom masom većom od 80,0 kg/hl u premium klasu. Od 30 ispitanih sorti pšenice 2 sorte spadaju u IV., 21 sorta u III., a 7 sorti u I. i II. klasu, dok se niti jedna sorta nije mogla svrstati u premium klasu (**Slika 11**). Hektolitarska masa je jedno od najstarijih mjerila za određivanje mlinarske kvalitete pšenice. S većom hektolitarskom masom raste i količina brašna koja se može dobiti mljevenjem, ali to nije pravilo. Hektolitarska masa ovisi o sortnim svojstvima pšenice, kao i o klimatskim prilikama pojedine godine, udjela vode u pšenici i dr., uslijed čega ona i kod iste sorte varira u dosta širokom rasponu. Hektolitarska masa pšenice (*T. aestivum*) kreće se od minimalno 65 kg/hl do maksimalno 84 kg/hl (Kaluđerski i Filipović, 1998). Hektolitarsku masu povećavaju kompaktna staklasta zrna, potpuno dozrela zrna, ovalna zrna glatke površine, nizak udio vode, mala zrna i zrna osrednje veličine te tanki omotač. S druge strane, hektolitarsku masu snižavaju mekana brašnasta zrna, velika duguljasta zrna, povišen udio vode te debeli i hrapavi omotač.

Apsolutna masa ili masa 1000 zrna također je važan pokazatelj kvalitete pšenice i na temelju njenog određivanja do određene granice moguće je predvidjeti i ponašanje pšeničnog zrna tijekom mljevenja. Pri jednakoj veličini zrna teža zrna će u izvjesnoj mjeri ukazati na mogućnost većeg iskorištenja mljevenja. Apsolutna masa zrna varira ovisno o samoj sorti pšenice, zemljištu odnosno tlu na kojemu je posijana, klimi, obradi i udjelu vode te se uglavnom kreće u rasponu od 33 do 45 g. Analizirani uzorci pšenice imali su prosječnu apsolutnu masu od 35,5 g. Jedan uzorak

je imao izrazito malu masu 1000 zrna od 29,9 g dok je najveća izmjerena apsolutna masa bila 40,8 g (**Tablica 3**).

Proteini imaju važnu ulogu u formiranju tijesta te se na temelju udjela i kvalitete proteina može s visokom točnošću odrediti kvaliteta pšeničnog zrna i brašna. Upravo se zbog toga klasifikacija pšenice vrši i po udjelu proteina. Prema Pravilniku o parametrima kvalitete i kvalitativnim klasama pšenice u otkupu pšenice roda 2018. godine (NN 46/2018) pšenica s udjelom proteina većim od 15,0% svrstava se u premium klasu, pšenica s udjelom 13,5 - 14,99% u I., 12,0 - 13,49% u II., 10,5 - 11,99% u III., a pšenica s udjelom proteina ispod 10,5% u IV. klasu. U odnosu na druge kvalitetne pokazatelje, udio proteina osim o sortnim osobinama, uvelike ovisi i o primijenjenim agrotehničkim mjerama što često dovodi do odstupanja u kvalitetnoj klasi. Udio proteina je povezan s mnogim svojstvima prerade pšenice kao što je apsorpcija vode i čvrstoća glutena, ali i s tvrdoćom zrna koja značajno utječe na iskorištenje mljevenja. Srednja vrijednost udjela proteina u ispitanim uzorcima pšeničnog zrna bila je 11,7% što ukazuje na relativno lošu kvalitetu pšenice roda 2017. godine koja prosječno spada u III. kvalitativnu klasu. Niti jedan uzorak nije svrstan u premium klasu, 2 uzorka svrstana su u I. klasu, po 12 uzoraka u II. i III. te 4 uzorka u IV. klasu (**Slika 12**). Najveća izmjerena vrijednost bila je 14,1%, a najmanja 9,8% proteina.

**Slika 13** prikazuje razvrstavanje uzoraka u kvalitativne klase prema Pravilniku. Budući da se razvrstavanje vrši na način da pšenica istovremeno mora zadovoljavati uvjete udjela proteina i hektolitarske mase da bi se mogla svrstati u višu kvalitativnu klasu, ukupni broj uzoraka u višim klasama je niži nego li je to prikazano **Slikama 11** i **12** gdje su navedena svojstva prikazana pojedinačno. Na ovaj način 2 uzorka svrstana su I., 6 u II., 19 u III. i 3 uzorka u IV. klasu. Niti jedan uzorak nije svrstan u premium kvalitativnu klasu.

Sedimentacijska vrijednost (po Zeleny-u) kretala se od vrlo niskih 14,0 $cm^3$ do zadovoljavajućih 37,0 $cm^3$. Prosječna sedimentacijska vrijednost iznosila je 25,8 $cm^3$. Prosječna staklavost zrna iznosila je 40,3%. Najmanja staklavost bila je samo 6% što ukazuje na vrlo brašnastu strukturu ovog uzorka. Najveća staklavost bila je 76% (**Tablica 3**). Veća sedimentacijska vrijednost i staklavost ukazuju na bolju kvalitetu proteina pšenice te veću tvrdoću zrna. Endosperm može biti bijele boje i kao takvim ga nazivamo „brašnasto“ zrno ili poluprozirno koje nazivamo „staklasto“ zrno. Brašnaste pšenice imaju uglavnom manji udio bjelančevina od staklastih odnosno tvrdih pšenica. U procesu mljevenja bolje su tvrde pšenice, koje daju brašno bolje pecivosti. Endosperm

staklastih pšenica je puno teži te takve pšenice uglavnom imaju veću hektolitarsku i apsolutnu masu.

U **Tablici 4** prikazani su rezultati laboratorijskog mljevenja pšenice. Postotak izbrašnjavanja kretao se u rasponu od 63,0 do 74,6%. Najveća količina brašna dobiva se na 1. mljevaču, od 37,5 do 50,0%. Količina krupnih posija kretala se u rasponu od 13, 4 do 23,3%, a sitnih od 9,9 do 16,4%.

**Slika 14** prikazuje prosječne vrijednosti izbrašnjavanja i pojedinih frakcija mljevenja. Prosječno izbrašnjavanje bilo je 70,5%, a prosječna količina brašna koja se dobije na 1. mljevaču 46,6%. Količina brašna s 1. krupača iznosila je 10,2%, udio krupnih posija 16,6%, a sitnih 12,8%.

Udjeli pepela (**Tablica 4**) u dobivenom brašnu kretali su se od 0,42 do 0,5% što ukazuje na dosta dobru ujednačenost vođenja procesa laboratorijskog mljevenja. Prosječna količina pepela dobivenih uzoraka brašna iznosila je 0,47%.

U **Tablici 5** prikazana je korelacijska matrica Pearson-ovih koeficijenata korelacije ($r$) između rezultata laboratorijskog mljevenja i fizikalno-kemijskih analiza. Vidljivo je da postoji statistički značajna korelacija ($p$<0,05) između postotka izbrašnjavanja i udjela pepela u zrnu pšenice, hektolitarske mase, udjela proteina, sedimentacijske vrijednosti i staklavosti zrna. Najznačajnija korelacija uočava se s hektolitarskom masom ($r$=0,608) što ukazuje na činjenicu da se od pšenice s velikom hektolitarskom masom mogu postići bolja iskorištenja mljevenja. Postotak izbrašnjavanja je u negativnoj korelaciji s udjelom pepela u zrnu ($r$=-0,466) što znači da je polazni udio pepela u zrnu bitan parametar u predviđanju iskorištenja procesa mljevenja. Rezultati su pokazali da apsolutna masa ne korelira značajno s postotkom izbrašnjavanja, iako je vidljiv pozitivan trend ovisnosti. Hektolitarska masa, udio proteina, sedimentacijska vrijednost i staklavost zrna također i međusobno statistički značajno koreliraju iz čega se može zaključiti da zrna velike hektolitarske mase i visokog udjela proteina posjeduju i veću kvalitetu proteina te veću tvrdoću zrna što u konačnici dovodi do boljeg postotka izmeljavanja. Udio sitnih posija nije pokazao značajnu korelaciju s niti jednim pokazateljem fizikalno-kemijskih svojstava, dok je udio krupnih posija u značajnoj negativnoj korelaciji s hektolitarskom masom, udjelom proteina, sedimentacijskom vrijednošću i staklavošću zrna te negativnoj korelaciji s udjelom pepela u zrnu pšenice. Očekivano, korelacija udjela brašna s 1. mljevača pokazuje isti trend kao i postotak izbrašnjavanja zbog činjenice da se mljevenje dobiva najveća količina upravo tog brašna.

U **Tablicama 6-8** prikazani su rezultati izrade modela predviđanja postotka izbrašnjavanja metodom višestruke linearne regresije. Za izradu modela kao prediktorske varijable upotrijebljeni su udio pepela u zrnu pšenice, hektolitarska masa, apsolutna masa, udio proteina, sedimentacijska vrijednost i staklavost zrna. Na osnovi korigiranog koeficijenta determinacije kao najprikladniji prediktori pokazali su se udio pepela u zrnu pšenice, hektolitarska masa i staklavost zrna (korigirani $R^2$=0,397). Analizom varijance utvrđena je statistička značajnost modela s odabranim prediktorima ($p$=0,001). U **Tablici 8** prikazani su parametri dobivenog modela i pripadajuća jednadžba, a na **Slici 8** podudarnost modelom izračunatih vrijednosti postotka izbrašnjavanja i eksperimentalnih podataka ($r$=0,6781).

# 6. ZAKLJUČCI

Prosječno izbrašnjavanje za 30 ispitanih uzoraka pšenice bilo je 70,5% s udjelima pepela u dobivenom brašnu u rasponu od 0,42 do 0,5% što ukazuje na dobru ujednačenost vođenja procesa laboratorijskog mljevenja.

Utvrđena je statistički značajna korelacija ($p$<0,05) između postotka izbrašnjavanja i udjela pepela u zrnu pšenice, hektolitarske mase, udjela proteina, sedimentacijske vrijednosti i staklavosti zrna.

Hektolitarska masa, udio proteina, sedimentacijska vrijednost i staklavost zrna također i međusobno statistički značajno koreliraju iz čega se može zaključiti da zrna velike hektolitarske mase i visokog udjela proteina posjeduju i veću kvalitetu proteina te veću tvrdoću zrna što u konačnici dovodi do boljeg postotka izmeljavanja.

Izrađenim modelom predviđanja postotka izbrašnjavanja metodom višestruke linearne regresije kao najprikladniji prediktori pokazali su se udio pepela u zrnu pšenice, hektolitarska masa i staklavost zrna.

# 6. LITERATURA

AACC 26-10A: Experimental Milling: Introduction, Equipment, Sample Preparation, and Tempering. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 10th ed. AACC, St. Paul, MN, 2000.

AACC 26-21A: Experimental Milling—Bühler Method for Hard Wheat. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 10th ed. AACC, St. Paul, MN, 2000.

AACC 26-31: Experimental Milling—Bühler Method for Soft Wheat Straight-Grade Flour. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 10th ed. AACC, St. Paul, MN, 2000.

Cauvain S.P., Young L.S.: Technology of Breadmaking. Aspen Publishers, Inc. Gaithersburg, Maryland,1999.

Hoseney, R. C.: Principles of cereal science and technology second edition, The American

ISO 20483: Cereals and pulses - Determination of the nitrogen content and calculation of the crude protein content – Kjeldahl method. International Organization for Standardization Geneva, Switzerland, 2006.

ISO 2171-2: Cereals, pulses and by-products -Determination of ash yield by incineration. . International Organization for Standardization Geneva, Switzerland, 2007.

ISO 512: Cereals and cereals products - Determination of the mass of 1000 grains. International Organization for Standardization Geneva, Switzerland, 1977.

ISO 5529: Wheat - Determination of the sedimentation index - Zeleny test. International Organization for Standardization Geneva, Switzerland, 2007.

ISO 712: Cereals and cereals products - Determination of moisture content – Routine reference method. International Organization for Standardization Geneva, Switzerland, 2001.

ISO 7971-2: Cereals - Determination of bulk density, called mass per hectolitre. International Organization for Standardization Geneva, Switzerland, 2009.

Jurišić, M.: AgBase – Priručnik za uzgoj bilja i tehnologija (agrotehnika) važnijih ratarskih kultura, VIP projekt, Studija MPŠVG, Osijek, 2008.

Kaluđerski G, Filipović N: Metode ispitivanja kvalitete žita, brašna i gotovih proizvoda. Tehnološki fakutet, Novi Sad 1998.

Katić, Z.: Sušenje i sušare u poljoprivredi; Multigraf d.o.o. Zagreb, 1997.

Kljusurić S: Uvod u tehnologiju mljevenja pšenice, Metković 2000.

Krička T, Kiš D i sur.: Tehnologija mlinarstva, Osijek 2012.

PRAVILNIK o parametrima kvalitete i kvalitativnim klasama pšenice u otkupu pšenice roda 2018. godine. Narodne novine br. 46, Zagreb, 2018.

PRAVILNIK o žiţaricama i proizvodima od žitarica. Narodne novine br. 81, Zagreb, 2016.

PRAVILNIK o žiţaricama, mlinskim i pekarskim proizvodima, tjestenini, tijestu i proizvodima od tijesta. Narodne novine br. 78, Zagreb, 2005.

Prehrambeno - biotehnološki fakultet: Kemija i tehnologija žitarica, Upute za laboratorijske vježbe. PBF, Zagreb, 2010./2011.

Web1. Pšenica (Triticum AP. L.) http://www.obz.hr/vanjski/CD_AGBASE2/HTM/psenica.htm (10.7.2018.)

Web2. http://studenti.ptfos.hr/Preddiplomski_studij/Sirovine_biljnog_podrijetla/zitarice/2_SIROVINE_psenica_17_18.pdf (10.7.2018.)

Web3. http://www.ru-ve.hr/proizvod/mlinovi-za-mljevenje-i-prosijavanje-bra-scaron-na-1-225

Žeželj M,: Tehnologija žita i brašna 2. Beograd 2005.