



# **DOKTORSKA DISERTACIJA**

**PRILOG PROUČAVANJU MOGUĆNOSTI RACIONALIZACIJE  
TEHNOLOŠKOG POSTUPKA MLEVENJA PŠENICE PRIMENOM  
OSMOVALJNE STOLICE**

**MR ALEKSANDAR FIŠTEŠ**

**NOVI SAD, 2009.**

*Iskreno se zahvaljujem mom mentoru dr Gavrilu Tanoviću na svoj pruženoj pomoći koja daleko prevazilazi okvire ove doktorske disertacije.*

*Zahvaljujem se preduzećima »Danubius« iz Novog Sada i »Žitosrem« Inđija koji su mi omogućili pristup svojim mlinovima i obezbedili uzorke za eksperimentalna ispitivanja.*

*Za pomoć pri realizaciji eksperimenata zahvaljujem se Marku Svirčevu i »mojim« diplomcima Obrić Nini, Katarini Zec, Radić Goranu, Đuri Vukmiroviću i Despić Marku.*

*Svojoj porodici, supruzi Sonji, sinovima Mateji i Danielu, majci Nadi, najtoplije se zahvaljujem na stalnoj podršci i velikom razumevanju.*

*Hvala prijateljima i kolegama na podršci i razumevanju.*

*Zahvaljujem se svima koji su pomogli na bilo koji način, a nisu pojedinačno spomenuti.*

---

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije:

TD Monografska publikacija

Tip zapisa:

TZ Tekstualni štampani materijal

Vrsta rada:

VR Doktorska disertacija

Autor:

AU **Mr Aleksandar Fišteš, dipl.inž.**

Mentor

MN **dr Gavriilo Tanović, docent**

Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu

Naslov rada:

NS **Prilog proučavanju mogućnosti racionalizacije tehnološkog postupka mlevenja pšenice primenom osmovaljne stolice**

Jezik publikacije:

JP srpski (latinica)

Jezik izvoda:

JI srpski (engleski)

Zemlja publikovanja:

ZP Srbija

Uže geografsko područje:

UGP Novi Sad, Vojvodina

Godina:

GO 2009.

Izdavač:

IZ autorski reprint

Mesto i adresa:

MS 21000 Novi Sad, Srbija, Bulevara Cara Lazara 1

Fizički opis rada:

FO broj poglavlja: 6

---

strana: 158  
tabela: 62  
slika/grafikona: 50

Naučna oblast:

OB Prehrambena tehnologija

Naučna disciplina:

DI Tehnologija prerade žita

Predmet odrednica/ključne reči:

PO Mlevenje pšenice, mlevenje griza i osevaka, osmovaljna stolica, racionalizacija tehnološkog postupka

UDK

Čuva se:

ČU u biblioteci Tehnološkog fakulteta u Novom Sadu, 21000 Novi Sad, Srbija, Bulevar Cara Lazara 1

Važna napomena:

VN nema

Izvod:

IZ U radu je proučavana mogućnost racionalizacije tehnološkog postupka mlevenja pšenice primenom osmovaljne stolice u fazi mlevenja griza i osevaka. Na svim ispitivanim prolazištima mlevenja griza i osevaka, pri istom razmaku između valjaka i istoj veličini otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna, ukupan prinos brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom manji je nego u klasičnom postupku. Pomenuta razlika varira u zavisnosti od uzorka i prolazišta mlevenja, ali je uvek statistički značajna. Nižim vođenjem valjaka u postupku sa osmovaljnom stolicom, u poređenju sa razmacima između valjaka u klasičnom postupku, u zavisnosti od uzorka i prolazišta mlevenja se smanjuje razlika, dostiže ili prevazilazi prinos brašna u odnosu na klasični postupak. Povećanjem veličine otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna značajno se povećava prinos brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom, pri čemu se pri odabiru sejnog tkiva u obzir mora uzeti i veličina svetlog otvora. Odabirom odgovarajuće veličine otvora sejnog tkiva može se i prevazići prinos brašna u klasičnom postupku. Niže vođenje valjaka i/ili povećanje veličine otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna, pri primeni osmovaljne stolice, nema za posledicu pogoršanje kvaliteta brašna (po pitanju sadržaja pepela) u odnosu na klasični postupak. Specifični utrošak energije za usitnjavanje po jedinici mase brašna, pri istom vođenju valjaka i istoj veličini otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna, veći je u postupku sa osmovaljnom stolicom nego u klasičnom postupku. Povećanjem izvoda brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom, značajno se smanjuje specifični utrošak energije za usitnjavanje. Mogućnost ostvarenja bliskih efekata usitnjavanja u fazi mlevenja griza i osevaka, u klasičnom i postupku sa osmovaljnom stolicom, ukazuje da je za dalju racionalizaciju savremenog tehnološkog postupka mlevenja pšenice neophodno uključivanje osmovaljne stolice.

---

Datum prihvatanja teme:

DP 19. 06. 2008.

Datum odbrane:

DOO

Članovi komisije:

(naučni stepen/ime i prezime/zvanje/fakultet)

KO

Član:

---

dr Gavriilo Tanović, docent, Tehnološki fakultet,  
Univerzitet u Novom Sadu

Član:

---

dr Biljana Pajin, docent, Tehnološki fakultet Novi Sad,  
Univerzitet u Novom Sadu

Član:

---

dr Jasna Mastilović, viši naučni saradnik, Institut za prehrambene  
tehnologije, Univerzitet u Novom Sadu

---

## KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

DT Monographic publication

Type of record:

TR Textual material printed

Contents code:

CC Ph.D.thesis

Author:

AU **Aleksandar Fišteš, M.Sc.**

Menthor:

MN **Gavrilo Tanović, Ph. D.**

Faculty of Technology, University of Novi Sad

Title:

TI Study on the possibilities of the rationalization of wheat flour milling process using the eight-roller mill

Language of text:

LT serbian (roman)

Language of abstract:

LS serbian (roman) / english

Country of publication:

CP Serbia

Locality of publication:

LP Novi Sad, Vojvodina

Publication year:

PY 2009.

Publisher:

PB author reprint

Publication place:

PL 21000 Novi Sad, Serbia, Bulevara Cara Lazara 1

Physical description:

PD chapters: 6

---

pages: 158  
tables: 62  
figures/graphs: 50

Scientific field:

SF Food technology

Scientific discipline:

SC Cereal milling technology

Key words:

KW Wheat flour milling, reduction system, eight-roller mill, process rationalization

UC

Holding data:

DT Library of Faculty of Technology, Novi sad, 21000 Novi Sad, Serbia, Bulevar Cara Lazara 1

Note:

N None

Abstract:

AB Rationalization of the wheat flour milling process using the eight-roller mill in the reduction system has been investigated. At the same roll gaps and same sieving conditions, a lower flour yield has been obtained using an eight-roller mill compared to a conventional one. The difference is statistically significant regardless the passage. By decreasing the roll gap in the process with the eight-roller mill, compared to the roll gap in the conventional process, it is possible to decrease the difference, obtain a similar or even exceed the flour release in the conventional system. Increasing the size of the screen aperture for sifting flour, while percent open area of the screen also needs to be observed, results in significant increase of flour yield (in some cases exceeding the flour yield in the conventional system). Adjustments of the roll gap and sieving conditions in the process with the eight-roller mill are not followed by deterioration of flour quality. At the same roll gaps and same sieving conditions, energy requirements for grinding are higher in the process with the eight-roller mill compared to a conventional system. With the increase of the flour release in process using the eight-roller mill, these energy requirements can be significantly reduced. The possibility of achieving similar milling results to those obtained in the conventional system, while the investment costs and overall energy requirements are significantly lower, justifies the use of the eight-roller mill in the reduction system of the wheat flour milling process.

Accepted by the Scientific Board on:

ASB 19. 06. 2008.

Defended on:

DE

---

Thesis defend board:  
(Degree/name/surname/title/faculty)  
DB

Member:

---

dr Gavriilo Tanović, assistant professor, Faculty of Technology,  
University of Novi Sad

Member:

---

dr Biljana Pajin, assistant professor, Faculty of Technology,  
University of Novi Sad

Member:

---

dr Jasna Mastilović, viši naučni saradnik, Food Institute Novi Sad  
tehnologije, University of Novi Sad



---

# SADRŽAJ

<b>1.0</b>	<b>UVOD</b>	<b>1</b>
<b>2.0</b>	<b>TEORIJSKI DEO</b>	<b>4</b>
<b>2.1</b>	<b>OSNOVI TEORIJE USITNJAVANJA ČVRSTIH TELA</b>	<b>4</b>
<b>2.2</b>	<b>SVOJSTVA PŠENIČNOG ZRNA KAO SIROVINE ZA PROIZVODNJU BRAŠNA</b>	<b>7</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Osnovna morfološka svojstva, anatomska građa i hemijski sastav pšeničnog zrna</b>	<b>7</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Strukturno-mehanička svojstva zrna pšenice</b>	<b>10</b>
<b>2.3</b>	<b>USITNJAVANJE PŠENIČNOG ZRNA</b>	<b>16</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Usitnjavanje pšeničnog zrna mlinskim valjcima</b>	<b>17</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Uticaj parametara usitnjavanja na efektivnost mlevenja mlinskim valjcima</b>	<b>19</b>
<b>2.4</b>	<b>KRATAK PRIKAZ TEHNOLOŠKOG POSTUPKA MLEVENJA PŠENICE</b>	<b>25</b>
<b>2.4.1</b>	<b>Usitnjavanje pšenice u fazi krupljenja</b>	<b>25</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Čišćenje griza</b>	<b>26</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Usitnjavanje griza i osevaka</b>	<b>27</b>
<b>2.5</b>	<b>PRIMENA OSMOVALJNE STOLICE U TEHNOLOŠKOM POSTUPKU MLEVENJA PŠENICE</b>	<b>28</b>
<b>2.5.1</b>	<b>Prednosti primene osmovaljne stolice u odnosu na klasičan postupak</b>	<b>29</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Efekti usitnjavanja osmovaljnom stolicom</b>	<b>37</b>
<b>2.5.3</b>	<b>Alternativna rešenja u konstrukciji osmovaljne stolice</b>	<b>41</b>
<b>3.0</b>	<b>EKSPERIMENTALNI DEO</b>	<b>44</b>
<b>3.1</b>	<b>CILJ RADA</b>	<b>44</b>
<b>3.2</b>	<b>MESTO RADA</b>	<b>44</b>
<b>3.3</b>	<b>ORGANIZACIJA EKSPERIMENTALNOG RADA</b>	<b>44</b>
<b>3.4</b>	<b>KRATAK PRIKAZ TEHNOLOŠKOG POSTUPKA U KORIŠĆENIM INDUSTRIJSKIM MLINOVIMA</b>	<b>45</b>
<b>3.4.1</b>	<b>Mlin A (250 t/dan)</b>	<b>45</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Mlin B (120 t/dan)</b>	<b>46</b>
<b>3.5</b>	<b>MATERIJAL ZA ISPITIVANJE</b>	<b>48</b>
<b>3.6</b>	<b>TEHNIKA</b>	<b>56</b>
<b>3.6.1</b>	<b>Laboratorijska valjna stolica - Variostuhl</b>	<b>56</b>
<b>3.6.2</b>	<b>Laboratorijsko sito</b>	<b>59</b>
<b>3.6.3</b>	<b>Ostali pribor</b>	<b>60</b>
<b>3.7</b>	<b>METODE RADA</b>	<b>60</b>
<b>3.7.1</b>	<b>Analize polaznih uzoraka</b>	<b>60</b>

---

<b>3.7.2</b>	<b>Usitnjavanje uzoraka</b>	<b>61</b>
<b>3.7.3</b>	<b>Efekti usitnjavanja</b>	<b>66</b>
<b>3.7.4</b>	<b>Metode statističke analize rezultata ispitivanja</b>	<b>69</b>
<b>3.8</b>	<b>REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISPITIVANJA</b>	<b>71</b>
<b>3.8.1</b>	<b>Rezultati analiza polaznih uzoraka</b>	<b>71</b>
<b>3.8.2</b>	<b>Granulacioni sastav mliva</b>	<b>73</b>
<b>3.8.3</b>	<b>Prinos brašna</b>	<b>80</b>
<b>3.8.4</b>	<b>Sadržaj pepela u frakcijama mliva</b>	<b>84</b>
<b>3.8.5</b>	<b>Sadržaj pepela u brašnu</b>	<b>91</b>
<b>3.8.6</b>	<b>Specifični utrošak energije za usitnjavanje</b>	<b>94</b>
<b>4.0</b>	<b>DISKUSIJA REZULTATA</b>	<b>97</b>
<b>4.1</b>	<b>SVOJSTVA POLAZNIH UZORAKA</b>	<b>97</b>
<b>4.2</b>	<b>ANALIZA GRANULACIONOG SASTAVA MLIVA</b>	<b>99</b>
<b>4.2.1</b>	<b>1R (A1)</b>	<b>99</b>
<b>4.2.2</b>	<b>2R (A1)</b>	<b>101</b>
<b>4.2.3</b>	<b>1R (A2)</b>	<b>104</b>
<b>4.2.4</b>	<b>2R (A2)</b>	<b>105</b>
<b>4.2.5</b>	<b>1R (B3)</b>	<b>108</b>
<b>4.2.6</b>	<b>2R (B3)</b>	<b>108</b>
<b>4.2.7</b>	<b>1M</b>	<b>111</b>
<b>4.2.8</b>	<b>2M</b>	<b>113</b>
<b>4.2.9</b>	<b>5M</b>	<b>114</b>
<b>4.2.10</b>	<b>6M</b>	<b>114</b>
<b>4.3</b>	<b>UPOREDNA ANALIZA PRINOSA BRAŠNA U FAZI MLEVENJA GRIZA I OSEVAKA U KLASIČNOM I POSTUPKU SA OSMOVALJNOM STOLICOM</b>	<b>116</b>
<b>4.4</b>	<b>ANALIZA SADRŽAJA PEPELA U FRAKCIJAMA MLIVA</b>	<b>131</b>
<b>4.5</b>	<b>UPOREDNA ANALIZA SPECIFIČNOG UTROŠKA ENERGIJE U KLASIČNOM I POSTUPKU SA OSMOVALJNOM STOLICOM</b>	<b>138</b>
<b>5.0</b>	<b>ZAKLJUČCI</b>	<b>146</b>
<b>6.0</b>	<b>LITERATURA</b>	<b>149</b>

## 1.0 UVOD

Mlevenje pšenice je složen tehnološki postupak koji u nizu operacija treba istovremeno da obezbedi odgovarajući stepen usitnjavanja mliva i efikasno razdvajanje osnovnih anatomskih delova zrna, odnosno izdvajanje čestica endosperma iz zrna u što je moguće čistijem obliku. Usitnjavanje pšenice ima naglašeno selektivni karakter što se postiže odgovarajućim postupkom pripreme pšenice za mlevenje, postepenim usitnjavanjem na određenom broju prolazišta mlevenja<sup>1</sup> i izborom optimalnih parametara usitnjavanja [1, 2, 3].

Savremeni tehnološki postupak mlinske prerade pšenice zasniva se na racionalnom korišćenju sirovine i opreme u mlinu, odnosno na postizanju tzv. kompromisnog optimuma koji podrazumeva ostvarivanje odgovarajućeg prinosa i asortimana finalnih proizvoda, zadovoljavajućeg kvaliteta (ne nužno i najboljeg mogućeg) uz što manje investicione, energetske i druge operativne troškove proizvodnje. Posebno se pitanje utroška energije danas u svetu, pa tako i u mlinskoj industriji, sve oštrije postavlja.

Iz ovih razloga, različiti aspekti racionalizacije tehnološkog postupka mlevenja su već decenijama neprekidna tema istraživanja. Novi koncepti i ideje imaju šansu da budu prihvaćeni samo ako će smanjiti troškove proizvodnje i neće negativno uticati na prinos i kvalitet finalnih proizvoda [4].

Mlinski valjci, iako u upotrebi već više od sto godina, i danas kada se govori o savremenim uređajima za usitnjavanje imaju prednost. Malogabaritne mašine sa udarnim dejstvom obrtnih radnih elemenata (80 m/s pa i više) doprinose racionalizaciji postupka usitnjavanja u pojedinim fazama mlevenja, ali se ipak koriste kao pomoćne mašine u odnosu na mlinske valjke, jer ne omogućavaju kontrolisano selektivno usitnjavanje. Naravno da je tokom godina ostvaren ogroman napredak u konstrukciji, funkcionalnosti i tehničkim karakteristikama ne samo mlinskih valjaka nego i planskih sita i čistilica griza kao osnovne opreme u mlinu, što je doprinelo značajnom povećanju njihovog učinka i mogućeg specifičnog opterećenja, a time i racionalizaciji postupka. Skraćenje dužine mlevnog toka (vezano sa nižim vođenjem valjaka), odnosno smanjenje broja prolazišta

---

<sup>1</sup> Prolazište ili pasaža mlevenja je kombinacija od najmanje jednog para valjaka i jednog odeljenja planskog sita. Na istom prolazištu mlevenja može biti angažovano i više pari valjaka i više odeljenja planskog sita, pod uslovom da obrađuju jednorodan materijal

mlevenja je u najvećoj meri doprinelo racionalizaciji tehnološkog postupka mlevenja pšenice.

Ipak, bazični koncept mlinarstva, koji se zasniva na postepenom usitnjavanju i naizmeničnom usitnjavanju i prosejavanju mliva, decenijama nije doživeo promenu, a prisutan je i danas. Zato ideja, iako ne nova, o uzastopnom (dvostrukom) usitnjavanju bez međuprosejavanja mliva, sa stanovišta same koncepcije tehnološkog postupka mlevenja pšenice, predstavlja radikalni korak. Do njega su dovela razmišljanja o daljim mogućnostima za skraćenje i pojednostavljenje tehnološkog postupka mlevenja. Realizacija ove ideje u industrijskoj praksi vezuje se za početak 90-tih godina prošlog veka i početak primene tzv. osmovaljne stolice.

Uobičajeni tehnološki postupak mlevenja pšenice zasniva se na naizmeničnom usitnjavanju na mlinskim valjcima (klasična dupla valjna stolica) i prosejavanju dobijenog mliva na planskom situ, pri čemu se deo materijala sa planskog sita izvodi iz tehnološkog postupka, a deo upućuje na naredna prolazišta u skladu sa dijagramom mlevenja. Kod osmovaljne stolice se celokupno mlivo nakon usitnjavanja na prvom (gornjem) paru valjaka, bez prosejavanja i izdvajanja izvoda, upućuje na sledeći par valjaka (neposredno ispod gornjeg para) nakon čega se prosejava na odgovarajućem odeljenju planskog sita. Primenom osmovaljne stolice ostvaruju se, u poređenju sa klasičnim mlevnim postupkom (dalje u tekstu klasičan postupak), višestruke investicione, energetske i operativne uštede u potrebnom prostoru u objektu, pneumatskom transportu međuproizvoda mlevenja, potrebnoj sejnoj i filtracionoj površini, elementima gravitacionog transporta, troškovima održavanja i dr. [4, 5, 6, 7]. Sa druge strane, primenom osmovaljne stolice, pogoršavaju se uslovi za efikasnost i selektivnost usitnjavanja na donjem paru valjaka, odnosno odgovarajućem prolazištu mlevenja, što potencijalno može imati negativne posledice na prinos, asortiman i kvalitet brašna i iskorišćenje zrna [7, 8].

Sigurno je da su upotrebi osmovaljne stolice u industrijskoj praksi prethodila obimna istraživanja efekata njene primene ali se ovi podaci strogo čuvaju u krugovima istraživačkih laboratorija velikih proizvođača mlinske opreme i nisu dostupni javnosti. Do danas, iako osmovaljna stolica već duži niz godina nalazi svoje mesto u savremenom tehnološkom postupku mlevenja pšenice, veoma je mali broj publikovanih podataka i naučnih radova koji se bave ovom tematikom i odnose se na primenu osmovaljne stolice na prvim prolazištima krupljenja [9, 10, 11]. Razlog tome dobrim delom leži i u činjenici da je za realizaciju ovakvih ispitivanja potrebna vrlo specifična oprema kojom se mogu simulirati pogonski uslovi usitnjavanja. Laboratorijska valjna stolica Variostuhl, kao

poluindustrijski laboratorijski uređaj, omogućuje pouzdano oponašanje pogonskih uslova i time stvara pretpostavku za prenošenje stečenih saznanja u industrijske mlinove [12].

Efekti usitnjavanja mlinskim valjcima (pa tako i osmovaljnom stolicom) zavise od svojstava materijala koji se usitnjava i parametara usitnjavanja. Zato je, sa obzirom na razlike u granulaciji i svojstvima čestica koje dolaze na usitnjavanje na različita prolazišta mlevenja, neophodno utvrditi na kojim pasażama mlevenja i pri kojim optimalnim parametrima usitnjavanja i prosejavanja mliva se uključivanje osmovaljne stolice u tehnološki postupak neće negativno odraziti na rezultate mlevenja. U pogonskim uslovima rada izuzev tehnoloških parametara usitnjavanja, a pre svega razmaka između valjaka i samo donekle specifičnog opterećenja valjaka, ostali parametri usitnjavanja (geometrijski i kinematički) su konstantni i ne mogu se menjati bez zaustavljanja pogona (nisu operativni).

Na efikasnost prosejavanja na planskom situ, pored vlažnosti i svojstava materijala (mliva) koji se prosejava, utiče i veći broj faktora kao što su specifično opterećenje sita, broj obrtaja, ekscentricitet, karakteristike konstrukcije sita, sejna površina (pojedinačnih rama i ukupna), karakteristike sejnih tkiva (veličina otvora, ujednačenost veličine otvora, veličina svetlog otvora, materijal izrade, zategnutost), čišćenje sejnih tkiva i dr. [8, 13, 14]. Danas je, pogotovo kod savremenih planskih sita kasetnog tipa, moguća relativno brza i laka promena uložnih (sejnih) rama, što podrazumeva prethodnu pripremu odgovarajućeg broja rezervnih uložnih rama, dok promena ostalih faktora (konstrukcija, broj obrtaja, ekscentricitet i sl.) zahteva više vremena, a vrlo često je povezana i sa ozbiljnim tehničkim zahvatima.

Sve prethodno navedeno nas je navelo da istraživanja usmerimo na proučavanje efekata primene osmovaljne stolice u fazi mlevenja griza i osevaka, odnosno da uporednom analizom utvrdimo da li postoje i kakve se razlike po pitanju efekata usitnjavanja postižu u odnosu na klasičan postupak. Uporedna analiza efekata usitnjavanja u pomenutim postupcima, u širokom intervalu primenjenih razmaka između valjaka i uslova prosejavanja mliva (sa aspekta veličine otvora korišćenih sejnih tkiva), omogućiće definisanje parametara pri kojima se u postupku sa osmovaljnom stolicom mogu ostvariti isti ili vrlo bliski efekti mlevenja kao u klasičnom postupku. Na ovaj način optimiziraće se tehnološki postupak mlevenja griza i osevaka što će doprineti daljoj racionalizaciji celokupnog tehnološkog postupka mlevenja pšenice.

## 2.0 TEORIJSKI DEO

### 2.1 OSNOVI TEORIJE USITNJAVANJA ČVRSTIH TELA

Vrlo je teško definisati opšti princip usitnjavanja čvrstih tela sa obzirom da sam tok i efekti ovog postupka zavise i od svojstava materijala koji se usitjava ali i od specifičnosti same akcije usitnjavanja odnosno karaktera i intenziteta sila deformacije koje deluju na telo. Generalno posmatrano, telo koje se usitjava apsorbira naprezanja kojima je izloženo usled dejstva mehaničkih sila. Kada unutrašnja naprezanja pređu određen kritični nivo (koji zavisi od svojstava materijala) dolazi do drobljenja tela uz nastajanje veće ukupne površine. Tokom ovog postupka energija se troši na elastične i plastične deformacije i na savlađivanje sila molekulskog privlačenja. Ipak, relativno mali deo mehaničke energije se efektivno koristi za obrazovanje nove površine čestica, dok se preostali deo transformiše u toplotnu energiju (izaziva povećanje temperature usitnjavanog materijala), transformiše u zvuk, troši na naelektrisanje čestica materijala koji se usitjava i radnih površina, vibracije i savlađivanje otpora u mašini za usitnjavanje [15,16,17].

Praktično svi osnovni zakoni usitnjavanja (Rittinger-ov, Kick-Kipričev i Bond-ov) zasnivaju se na diferencijalnoj jednačini:

$$\frac{dE}{dL} = KL^n \quad (1)$$

gde dE predstavlja energiju potrebnu da se izazove promena (dL) dimenzije polazne čestice L, dok su K i n konstante [17].

Prema Rittinger-ovoj hipotezi [18] rad utrošen na usitnjavanje srazmeran je novoobrazovanoj površini usitnjavanog materijala, odnosno priraštaju površinske energije. Obzirom da je površina proporcionalna kvadratu dužine  $n = -2$ .

Kick [19] i Kirpičev [20] su, nezavisno jedan od drugog, postavili zapreminsku teoriju usitnjavanja prema kojoj je rad utrošen na usitnjavanje čvrstih tela srazmeran odnosu zapremina čestica pre i nakon usitnjavanja, odnosno potrebni utrošak energije direktno je proporcionalan odnosu  $dL/L$ . To implicira  $n = -1$ .

Po hipotezi Bond-a [16,17], koja se nalazi negde između površinske i zapreminske hipoteze, rad potreban za usitnjavanje čvrstog tela dimenzije  $x$  proporcionalan je  $x^3$ . Od momenta nastanka prve pukotine i početka drobljenja tela, energija postaje srazmerna  $x^2$ ,

tako da je pretpostavka da je realna srazmera utrošenoj energiji negde između  $x^2$  i  $x^3$ . Po Bond-ovoj hipotezi je  $n=-1.5$  ( $-3/2$ ).

Rešavanjem relacije (1), uzimajući u obzir navedene vrednosti konstante  $n$ , dolazi se do relacija (2), (3) i (4) koje predstavljaju Rittingerov, Kick-Kipričev i Bond-ov zakon usitnjavanja

$$n = -2 \quad E = K_R \left( \frac{1}{L_2} - \frac{1}{L_1} \right) \quad (2)$$

$$n = -1 \quad E = K_K \ln \left( \frac{L_1}{L_2} \right) \quad (3)$$

$$n = -1.5 \quad E = K_B \left( \frac{1}{\sqrt{L_{2(80)}}} - \frac{1}{\sqrt{L_{1(80)}}} \right) \quad (4)$$

gde su:

$E$  – energija po jedinici mase usitnjavanog materijala,

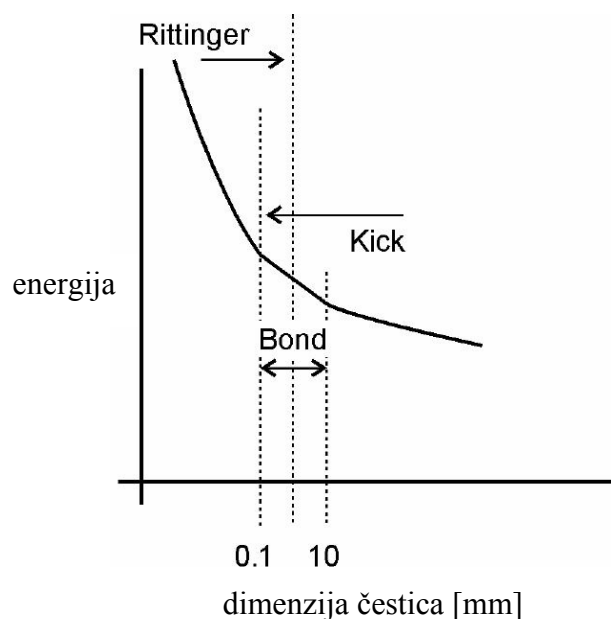
$L_1$  i  $L_2$  - dimenzije (prečnik) čestica polaznog i usitnjenog materijala i

$K$  – odgovarajući eksperimentalni koeficijenti.

U Bond-ovom zakonu  $L_{1(80)}$  i  $L_{2(80)}$  predstavljaju dimenzije pri kojima je 80% od ukupne mase čestica manje od date dimenzije. Bond-ov zakon se vrlo često daje u formi (5) koja uključuje tzv Bond-ov indeks rada  $W_i$  koji definiše energiju po jedinici mase usitnjavanog materijala, potrebnu za redukciju dimenzije polazne čestice do čestica veličine 100  $\mu\text{m}$ .

$$E = 10W_i \left( \frac{1}{\sqrt{L_{2(80)}}} - \frac{1}{\sqrt{L_{1(80)}}} \right) \quad (5)$$

Mnogobrojna ispitivanja su pokazala da se pri određivanju utrošenog rada pri finom usitnjavanju tačniji rezultati dobijaju po formulama izvedenim iz površinske hipoteze, a pri grubom usitnjavanju po formulama izvedenim iz zapreminske hipoteze (sl.1) [16,17,21].



Sl. 1 – Zakoni usitnjavanja [16]

Rebinder [22] je dao opštu teoriju usitnjavanja čvrstih tela prema kojoj je utrošak energije za usitnjavanje ( $E$ ) jednak zbiru energije koja se troši na elastične i plastične deformacije ( $E_Y$ ) i na povećanje površine čestica ( $E_S$ ):

$$E = E_Y + E_S \quad (6)$$

Prvi član jednačine (6) odnosi se na deformaciju zapremine čvrstog tela ( $E_Y$ ), a drugi član ( $E_S$ ) predstavlja uloženi rad na povećanje površine pri usitnjavanju tela. Pri drobljenju velikih delića polaznog materijala, povećanje površine je relativno malo (drugi član je u odnosu na prvi zanemarljivo mali), pa je utrošak energije za drobljenje približno srazmeran zapremini čvrstog tela. Pri finom usitnjavanju povećanje površine je veliko (drugi član je daleko veći od prvog) tako da je utrošak energije približno srazmeran povećanju površine. U Rebinderovoj jednačini korisno utrošeni deo energije je onaj koji se troši na povećanje površine čestica ( $E_S$ ) jer se neposredno odnosi na usitnjavanje tela. Da bi se smanjio utrošak energije u postupku usitnjavanja treba nastojati da utrošak energije koji nije direktno vezan za samo usitnjavanje čvrstih tela bude minimalan.

Treba istaći da sve prethodno navedene teorije posmatraju isključivo kvantitativnu stranu usitnjavanja čvrstih tela dok je tehnološki postupak mlevenja pšenice znatno složeniji i za ocenu efektivnosti postupka se, pored kvantitativnih pokazatelja, moraju u obzir uzeti i kvalitativni pokazatelji.



## 2.2 SVOJSTVA PŠENIČNOG ZRNA KAO SIROVINE ZA PROIZVODNJU BRAŠNA

### 2.2.1 Osnovna morfološka svojstva, atomska građa i hemijski sastav pšeničnog zrna

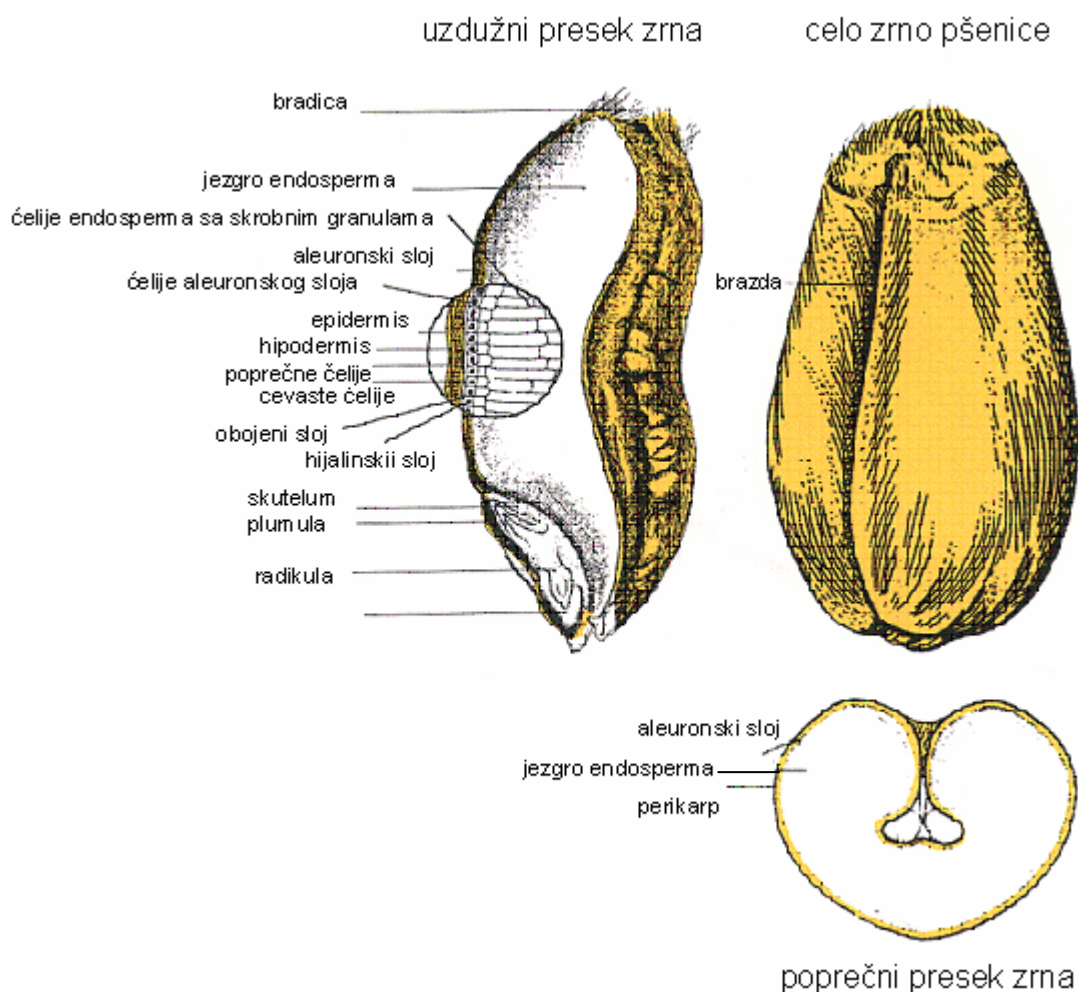
Pšenično zrno je izduženog elipsoidnog oblika sa zaobljenom leđnom stranom i izraženom uzdužnom brazdom, sa prednje (trbušne) strane, koja dopire skoro do centralnih delova zrna [23,24,25]. Veličina (krupnoća) zrna, definisana dužinom, širinom i debljinom, je sortna osobina mada delom zavisi i od drugih faktora, kao što su uslovi gajenja (karakteristike zemljišta, klimatske prilike, nivo primenjene agrotehnike i dr.) ili položaj zrna u klasu (vezano sa različitim redosledom oplodnje zrna unutar klasa) [26,27]. Dužina zrna obično se kreće u intervalu od 5-8 mm, širina 2,5-4,5 mm, a debljina do 3,8 mm [28]. Zrno pšenice sastoji se iz tri osnovna atomska dela: omotača, endosperma i klice, međusobno različita po hemijskom sastavu (tab.1), udelu (tab.2), građi (sl.2) i strukturno-mehaničkim osobinama.

**Tab. 1 - Osnovni hemijski sastav atomskih delova zrna pšenice [29]**

atomski deo			sadržaj hemijske komponente (%) <sub>sm</sub>					
			proteini	skrob	celuloza	pentozani	masti	pepeo
omotač	oplodnjača	ljuska	5-8	-	20-22	25-30	1-2	3,5-24,5
	semenjača		12-20	-	1-1,5	14-36	0-0,2	7-20
endosperm	aleuronski sloj		16-20	-	5-7	6-8	10-15	14,5-17
	jezgro endosperma	12-15	75-80	0,1-0,2	2-3	0,7-1	0,25-0,55	
klica			24-42	-	2-2,5	9-11	13-24	5,5-6,5

Tab. 2 – Anatomska građa zrna pšenice [29]

udeo anatomskog dela (%)			
endosperm		klica	omotač
jezgro endospema	aleuronski sloj		
77,0-85,0	6,3-8,9	1,4-3,8	5,6-8,9



### Sl.2 – Uzdužni i poprečni presek zrna pšenice

Klica (žive ćelije) je smeštena na leđnoj strani zrna, nasuprot bradici i sastoji se od dva dela (sl.2). Deo prema endospermu naziva se skutelum i služi kao prvi izvor hranljivih materija neophodnih za razvoj biljke. Između skuteluma i skrobnog endospema postoji sloj vrlo specifičnih ćelija koje su poreklom iz skrobnog endospema. Kod ovih ćelija došlo je do degeneracije citoplazme (ali ne i ćelijskih zidova) usled čega ne dolazi do

njihovog normalnog razvoja tokom zrenja. Usled povećanja endosperma i klice, pod dejstvom pritiska, dolazi do oštećenja pomenutih ćelijskih zidova i formira se ovaj specifičan sloj »zdrobljenih« ćelija. Ovaj tzv. »cementni« sloj ćelija je izuzetno važan jer upravo duž njega, tokom mlevenja, dolazi do razdvajanja klice od ostatka zrna. Ukoliko jedan deo ovog sloja ulazi u međućelijske prostore epitela skuteluma ili slojeve strukture skuteluma, klica se teže odvaja od endosperma [23]. Omekšavanje pomenutog sloja, a time i lakše razdvajanje klice od endosperma, postiže se odgovarajućim postupkom pripreme pšenice za mlevenje [24]. U principu klica je strukturno odvojeni deo zrna, što znači da razdvajanje klice od endosperma ne zahteva razbijanje ćelijskih zidova [8]. Drugi deo klice je embriona osa koju čine klicino stabaoce i listići na jednoj (plumula) i klicin korenčić na drugoj strani (radikula) [24,26]. Zbog svog hemijskog sastava klica je po hranljivoj vrednosti najvredniji deo zrna. Visok sadržaj masti čini je nestabilnom, tako da su brašna koja sadrže više delića klice podložnija kvarenju [30]. U klici su skoncentrisani enzimi i vitamini zrna, a pored masti sadrži i relativno velike količine proteina, šećera i mineralnih materija. Ovakav hemijski sastav, a pre svega visok sadržaj masti, daje joj izrazito plastične osobine što se i koristi za njeno izdvajanje u postupku prerade [1,30].

Omotač (sl.2) je spoljašnji deo zrna i obavija ga po površini. Izgrađen je od mrtvih ćelija bez jedra sa zadebljalim ćelijskim membranama [31]. Sastoji se od dva dela: spoljašnjeg-oplodnjače i unutrašnjeg-semenjače. Oplodnjaču čine 4 sloja ćelija različitih po građi i sastavu. Površinski sloj čine ćelije epidermisa prekrivene tankim slojem voska. Pri vrhu zrna deo ćelija epidermisa transformisan je u dlačice koje formiraju bradicu zrna. Ispod epidermisa nalaze se, jedan ispod drugog, slojevi uzdužnih (hipodermis), poprečnih i cevastih ćelija [23,24,26]. Debljina oplodnjače je oko 50  $\mu\text{m}$ , a njen udeo u zrnu iznosi 4-6% [23]. Semenjaču čine dva sloja: obojeni sloj-“testa”, koji se spoljašnjom stranom naslanja na oplodnjaču, a sa unutrašnje strane je srastao sa hijalinskim slojem [24]. Hijalinski sloj obavija zrno po celoj površini, izuzev dela klice, a svojom unutrašnjom stranom srastao je sa aleuronskim slojem. Udeo semenjače u zrnu je oko 2% [23]. Debljina svih slojeva omotača (uključujući tu i aleuronski sloj) je u intervalu 50-80 $\mu\text{m}$  [32,33]. Osnovna botanička uloga omotača je zaštita endosperma i klice od spoljnih uticaja. Hemijski sastav omotača omogućava obavljanje ove funkcije jer ga visok sadržaj celuloze, pentozana i mineralnih materija čini mehanički veoma otpornim [34,35].

Sa mlinskog aspekta najvažniji anatomske deo pšeničnog zrna je endosperm. Sastoji se od dva dela: spoljašnjeg-aleuronski sloj i unutrašnjeg-jezgro endosperma (sl.2). Aleuronski sloj predstavlja jedan red čvrsto zbijenih ćelija sa jedrom (žive ćelije) i

zadebljalim zidovima i u potpunosti obavija zrno u delu skrobnog endosperma, a samo manjim delom, u modifikovanoj formi, u području klice [23,26]. Odlikuje se visokim sadržajem proteina, masti, mineralnih materija, vitamina i enzima te stoga ima veliku hranljivu vrednost [26,35]. Iako je anatomski deo endosperma, aleuronski sloj je po svojim tehnološkim svojstvima znatno bliži omotaču zrna nego jezgru endosperma, te se u postupku mlinske prerade zajedno sa klicom i omotačem izdvaja u sporedne proizvode mlevenja [36]. Unutrašnji deo ili jezgro endosperma izgrađen je od ćelija bez jedra, vrlo tankih zidova čiji oblik, veličina i sastav variraju u zavisnosti od položaja unutar jezgra. U perifernim delovima, u tzv. sub-aleuronskom sloju, ćelije su relativno sitne dok su ćelije unutrašnjeg endosperma veće i mogu biti prizmatičnog ili okruglasto-poligonalnog oblika (centralni endosperm) [23,24,26]. Ćelije endosperma su ispunjene skrobnim zrnima (granulama) uklopljenim u proteinski matriks [23,26]. Skrobna zrna endosperma se svrstavaju u dva osnovna tipa: tip A koja su ovalnog oblika i krupnija (30-50  $\mu\text{m}$ ) i tip B koja su sitnija (2-10  $\mu\text{m}$ ) i više sferična, dok je udeo skrobnih zrna srednje veličine mali [23,37,38]. U centralnom delu endosperma najveći je udeo krupnih skrobnih zrna, dok se u pravcu perifernih delova povećava udeo sitnijih skrobnih zrna. Rezultati nedavno objavljenih istraživanja Edwards-a i sar. [39] ukazuju da raspodela veličina skrobnih zrna ima uticaja na prinos brašna. Razlike u strukturi i sastavu ćelija za posledicu imaju i različitu raspodelu skroba i proteina unutar endosperma. Centralni deo endosperma je bogat skrobom, dok je sadržaj proteina i mineralnih materija relativno nizak. Od centra ka aleuronskom sloju opada sadržaj skroba, a raste sadržaj proteina i mineralnih materija, posebno u sub-aleuronskom sloju [23]. U zavisnosti od položaja razlikuju se dva tipa proteina: uklješteni, koji ispunjavaju prostor između skrobnih zrna, i priljubljeni, koji obavijaju skrobna zrna u tankom sloju [29,40]. Priroda veze između skroba i proteina u endospermu značajno utiče na strukturno-mehanička svojstva zrna [41]. Sastav proteina u perifernim delovima jezgra endosperma je, u poređenju sa centralnim, tehnološki nepovoljniji. Jezgro endosperma odlikuje slaba mehanička otpornost, zbog čega se u postupku mlevenja usitnjava u većoj meri od ostalih anatomskih delova zrna.

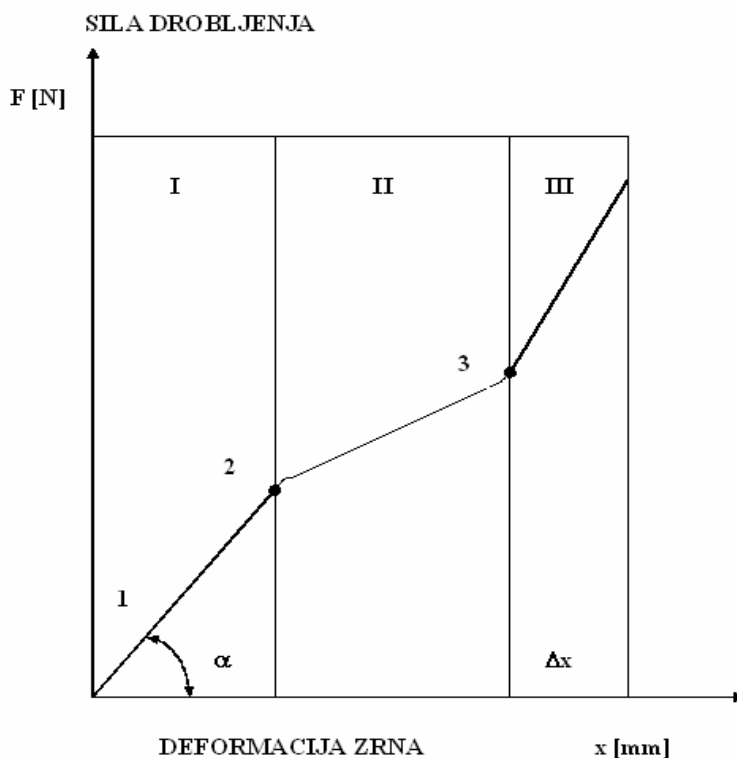
### **2.2.2 Strukturno-mehanička svojstva zrna pšenice**

Mehanička svojstva zrna su usko vezana sa strukturom zrna zbog čega se i nazivaju strukturno-mehaničkim svojstvima. Ona bitno utiču na izbor parametara usitnjavanja, jer

određuju ponašanje zrna i utiču na prinos i kvalitet proizvoda i utrošak energije pri mlevenju [34]. Strukturno-mehanička svojstva ispoljavaju se pri delovanju na zrno statičkih i dinamičkih opterećenja. Pri statičkim opterećenjima određuju se mehaničke karakteristike koje daju procenu o čvrstoći, tvrdoći, elastičnosti i plastičnosti pojedinačnih zrna.

Pri oceni mehaničkih karakteristika zrna ili pojedinih anatomskih delova zrna neophodno je u obzir uzeti i oblik deformacije jer otpor koji se pruža silama sabijanja i smicanja nije isti. Čistov [21] je utvrdio da su, pri deformaciji pšeničnog zrna različitog sadržaja vode, sile deformacije pri sabijanju 2-3 puta veće nego pri smicanju. Arnold i Roberts [42] su, ispitujući raspodelu naprezanja u zrnu pšenice pri sabijanju, utvrdili da saopštena naprezanja ne doprinose usitnjavanju omotača koji praktično samo »pridržiava« endosperm, odnosno da je usitnjavanje zrna dominantno posledica frakture endosperma. Omotač i klica su, kao izrazito plastična tela, daleko podložniji dejstvu sila deformacije smicanja nego sabijanja.

Pšenično zrno prilikom usitnjavanja pokazuje viskoelastična svojstva. Demidov i Gončarova [43] su utvrdili tri različite faze drobljenja zrna pšenice pri deformaciji sabijanja (sl.3).



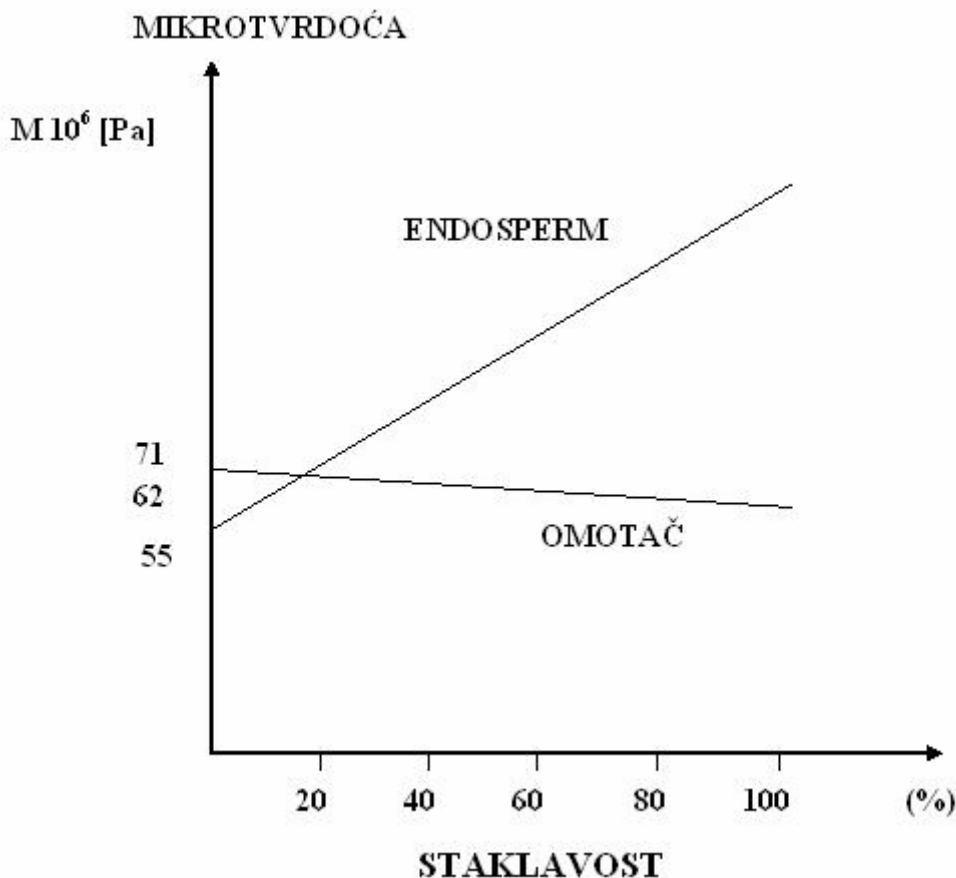
Sl. 3 – Karakteristična kriva trofaznog drobljenja zrna pšenice pri deformaciji sabijanja

U prvoj fazi preovlađuju elastične deformacije koje se pokoravaju Hukovom zakonu. U drugoj fazi su uglavnom prisutne plastične deformacije pri kojima u zrnu nastaju pukotine. Pri prelasku iz druge u treću fazu zrno se drobi. U trećoj fazi se zapaža značajno povećanje naprezanja pri relativno manjim linearnim deformacijama zrna što se objašnjava presovanjem delića zdrobljenog zrna. Takođe u ovoj fazi je primetno i značajno povećanje specifičnog utroška energije.

Čvrstoća je sposobnost zrna da se suprotstavlja drobljenju pod dejstvom spoljnih sila. Anatomski delovi zrna se međusobno razlikuju po čvrstoći, a najveću čvrstoću pokazuje omotač [40]. Sa smanjenjem veličine zrna povećava se njegova čvrstoća što je posledica većeg udela omotača kod sitnijih zrna [34]. Čvrstoća sitnijih zrna je za 30-60% veća nego kod krupnih. Struktura omotača je heterogena tako da različiti slojevi omotača takođe pokazuju razlike u mehaničkim osobinama. Najveći uticaj na mehanička svojstva spoljnih slojeva zrna imaju pre svega aleuronski sloj, a zatim epidermis [44]. Po Peyron-u i sar. [45] uzrok tome je visok sadržaj arabinoksilana (oko 70% ukupnih polisaharida) i visok stepen njihovog unakrsnog povezivanja (umrežavanja) u ćelijskim zidovima aleuronskog sloja.

Pod *tvrdocom* zrna podrazumeva se sposobnost površinskih slojeva da pružaju otpor prodiranju stranog tela [40]. Tvrdoca se često dovodi u vezu sa staklavošću iako ova dva pokazatelja opisuju različita svojstva zrna, tvrdoca-sposobnost zrna da se suprotstavi deformaciji, a staklavost vizuelnu ocenu preseka endosperma zrna [38]. Tvrdoca pšenice je pre svega sortna osobina, odnosno najviše zavisi od genotipa, dok na staklavost značajno utiču uslovi gajenja (klimatske prilike, karakteristike zemljišta, primenjena agrotehnika i sl.) [46,47]. Staklavost, odnosno brašnavost, posledica je odgovarajuće fizičke strukture endosperma. Snimci načinjeni skenirajućim [48,49] i transmisionim [50] elektronskim mikroskopom su pokazali da staklav endosperm karakteriše kompaktnost, odnosno kontinualan proteinski matriks u koji su uklopljena skrobna zrna. Nasuprot tome, kod brašnave strukture endosperma proteinski matriks nije kontinualan, skrobna zrna nisu čvrsto upakovana i prisutni su vazdušni međuprostori. Pokazalo se da staklava zrna imaju veći sadržaj proteina nego brašnava što je posledica kontinuiteta proteinskog matriksa [50]. Dexter i sar. [51], Dexter i Edwards [52] i Samson i sar. [53] navode da je kod durum pšenice porast sadržaja proteina sa staklavošću pre svega posledica akumulacije glijadina u odnosu na glutenin što za posledicu ima promenu odnosa ove dve komponente i doprinosi jačoj vezi između proteinskog matriksa i skrobnih granula. Staklava i brašnava zrna usitnjavaju se na različit način, odnosno daju različitu strukturu mliva [54].

Postoji razlika u tvrdoći anatomskih delova zrna, a najveću ima endosperm [40]. Ajzikovič i Horcev [55] navode da sa povećanjem staklavosti zrna mikrotvrdoća endosperma znatno raste, dok kod omotača blago opada (sl.4). Tschiersch [56] takođe navodi da se pšenice međusobno znatno više razlikuju prema mikrotvrdoći endosperma, dok su razlike u mikrotvrdoći omotača male.



Sl. 4 – Zavisnost mikrotvrdoće endosperma i omotača zrna od staklavosti pšenice

Ispitivanja Barlow-a i sar. [41], Stenvert-a i Kingswood-a [48] i Glenn-a i Johnston-a [57] pokazala su da, između sorti pšenice različite tvrdoće, ne postoji značajna razlika u mikrotvrdoći osnovnih komponenti endosperma (skroba i proteina) ali postoji razlika u jačini veze skrob-proteini. Nepodeljeno je mišljenje velikog broja autora da na mikrotvrdoću endosperma presudno utiče priroda (jačina) veze između skroba i proteina [38,41,47,48,57,58,59,60,61,62]. Snimci načinjeni skenirajućim elektronskim mikroskopom potvrdili su da mikrotvrdoća endosperma zavisi od jačine veze između proteina i skroba, kao i da postoji razlika u načinu »razrušavanja« strukture endosperma pri usitnjavanju zrna različite mikrotvrdoće. Kod zrna tzv. »tvrdih« pšenica, zbog jačine veze

skrob-proteini, do frakture dolazi duž ćelijskih zidova, pri čemu se skrobna zrna lome što za posledicu ima veći stepen oštećenja skroba nego što je to kod »mekih« pšenica kod kojih do frakture dolazi kroz ćelijski sadržaj, ali oko pojedinačnih skrobnih zrna koja se, zbog slabije veze između skroba i proteina, mnogo laskše oslobađaju [41,63,64,65]. Snimci načinjeni elektronskim mikroskopom na uzorcima mliva sa različitih prolazišta krupljenja, dobijenih usitnjavanjem pšenice različite tvrdoće u pogonskim uslovima, potvrđuju prethodno pomenuta zapažanja i pokazuju da tvrdoća zrna ima značajan uticaj na efekte usitnjavanja kako u celini tako i po pojedinim prolazištima mlevenja (udeo i karakter pojedinih frakcija mliva) [66].

Wang i Jeronimidis [65] kao i Haddad i sar. [47] navode i značajnu razliku u dinamici širenja pukotina u endospermu »mekih« i »tvrdih« pšenica što za rezultat ima formiranje čestica mliva različitog oblika i krupnoće. Ispitivanja Tanović-a i sar. [67,68,69,70], Fang-a i sar. [71,72,73] i Campbell-a i sar. [74] pokazuju da na I krupljenju, sa porastom kompaktnosti strukture endosperma, raste prinos krupnijih frakcija mliva (griza), a opada prinos sitnijih frakcija izvoda (osevci i brašno). «Tvrđe» pšenice daju ujednačeniju raspodelu veličina čestica mliva, dok «meke» pšenice karakteriše veći prinos sitnijih i krupnijih čestica, sa relativno manjim prinosom čestica srednje veličine [74]. Ovde svakako treba istaći da na granulacioni sastav mliva značajno utiču i odabrani parametri usitnjavanja (uzajamni položaj žlebova valjaka, razmak između valjaka i dr.) koji određuju intenzitet i karakter sila deformacije u mlevnom prostoru. Brašno dobijeno mlevenjem «mekih» pšenica, u poređenju sa brašnom «tvrdih» pšenica, je sitnije granulacije i izraženije je razdvajanje skroba i proteina uz prisustvo većeg broja slobodnih skrobnih granula [47,75,76].

Sa povećanjem tvrdoće pšenice povećava se i utrošak energije za usitnjavanje. Zwingelberg [77] navodi da se čak i do 75% od ukupnog utroška energije u celokupnom tehnološkom postupku mlevenja pšenice troši na samo usitnjavanje. Ispitivanja Kilborn-a i sar. [78] (sprovedena na školskom mlinu-pilot) pokazala su da, između pšenice različite tvrdoće, postoji značajno veća razlika u utrošku energije za usitnjavanje u fazi mlevenja griza i osevaka nego u fazi krupljenja. Isti autori takođe navode da na I krupljenju ne postoji uočljiv trend promene utroška energije sa promenom tvrdoće zrna, ali da je već od II krupljenja uočljiv trend porasta utroška energije sa povećanjem tvrdoće zrna. Ovakav trend prisutan je na svim prolazištima u fazi mlevenja griza i osevaka. Greffeuille i sar. [76], ispitujući efekte usitnjavanja krupnog griza, takođe navode da sa porastom tvrdoće endosperma raste utrošak energije za usitnjavanje. Prethodno navedeno ukazuje da tvrdoća



endosperma značajno utiče na utrošak energije za usitnjavanje, a time i na ukupni utrošak energije u tehnološkom postupku mlevenja pšenice.

Iako je gotovo nepodeljeno mišljenje da je tvrdoća zrna jedan od važnijih faktora koji utiče na efekte usitnjavanja još uvek ne postoji opšte prihvaćena kvantitativna fizička definicija tvrdoće zrna [62]. Za određivanje tvrdoće pšenice tokom godina predložen je čitav niz različitih metoda, ali sa obzirom na predmet ovog rada, samo će se navesti one koje se danas koriste kao standardne metode: indeks veličine čestice - PSI (particle size index) [79], spektroskopija u bliskoj infra crvenoj oblasti – NIR (near infra-red reflectance) [80] i sistem za karakterizaciju pojedinačnih zrna – SKCS (single kernel characterisation system) [81].

*Elastičnost* je osobina zrna da se, nakon prestanka dejstva sile koja izaziva deformaciju, vraća u prvobitan oblik. *Plastičnost* je svojstvo zrna ili proizvoda zrna da nakon prestanka dejstva sile ostaje trajno deformisano. Zrno pšenice se, kao realno telo, po svojim osobinama nalazi između idealno plastičnog i idealno elastičnog tela.

*Relaksaciona svojstva* zrna sastoje se u tome da se naprezanja u zrnu, izazvana nastalim deformacijama, tokom vremena postepeno smanjuju usled postepenog prelaska elastičnih deformacija u plastične [40].

Kada je u pitanju zrnena masa dolazi do izražaja pojava međusobnog trenja zrna, međuprostora između zrna i drugo. Kod zrnene mase, strukturno-mehaničke osobine se određuju pri dinamičkim opterećenjima i ovako određeni pokazatelji imaju daleko veći značaj za pogonske uslove usitnjavanja žita.

Vlaženjem (kondicioniranjem) pšenice, u okviru postupka pripreme pšenice za mlevenje, naglašavaju se razlike u strukturno-mehaničkim svojstvima anatomskih delova zrna što je, uz postepeno i kontrolisano usitnjavanje, jedan od preduslova za selektivno usitnjavanje. Pri optimalnom sadržaju i raspodeli vode u zrnu, što treba da je usklađeno sa strukturno-mehaničkim svojstvima (tvrdoća, staklavost), endosperm zadržava svoju drobitost (elastična svojstva), a aleuronski sloj, klica i omotač dobijaju izrazito plastična svojstva. Plastična tela tokom usitnjavanja ostaju u krupnijim delićima ili čak povećavaju svoju dimenziju (dejstvom sila deformacije sabijanja dolazi do njihovog presovanja) i lakše se razdvajaju od sitnijih čestica poreklom iz endosperma. Optimalnom vlagom zrna takođe se smanjuje i utrošak energije pri mlevenju. Potrebe i prednosti pravilnog kondicioniranja zrna su u literaturi detaljno obrađeni [2,3,8,82,83,84], a sa obzirom na predmet rada neće se detaljnije razmatrati.

## 2.3 USITNJAVANJE PŠENIČNOG ZRNA

Za razliku od usitnjavanja neorganskih materijala homogenog sastava, gde je osnovni cilj postizanje odgovarajuće granulacije (stepena usitnjavanja) mliva uz što manji utrošak energije, mlevenje pšenice je znatno složeniji postupak koji uz pomenute zahteve treba da obezbedi i efikasno razdvajanje osnovnih anatomskih delova zrna. Usitnjavanje zrna treba da bude što selektivnije, odnosno usitnjavanje endosperma ne treba da prati istovremeno i istostepeno usitnjavanje omotača, aleuronskog sloja i klice koje treba što potpunije izdvojiti u vidu mekinja [12,68]. Selektivno usitnjavanje postiže se odgovarajućim postupkom pripreme pšenice za mlevenje kojim se naglašavaju razlike u strukturno-mehaničkim osobinama anatomskih delova zrna, postepenim usitnjavanjem na odgovarajućem broju prolazišta mlevenja i izborom optimalnih parametara usitnjavanja. Ovde treba posebno podvući da napred navedeno zahteva da se za svako prolazište usitnjavanja utvrde optimalni uslovi tako da u postojećem nizu operacija ne dođe do ispoljavanja negativnih uticaja prethodnih prolazišta mlevenja.

Efektivnost usitnjavanja, po pojedinim fazama i u celini, bitno utiče na stanje tehnološkog postupka, racionalno korišćenje osnovne tehnološke opreme, određuje kvalitet finalnih proizvoda i tehničko-ekonomske pokazatelje proizvodnje. Za ocenu efektivnosti usitnjavanja koriste se tri vrste pokazatelja: kvantitativni, kvalitativni i energetski pokazatelji [85].

Osnovni kvantitativni pokazatelj efektivnosti usitnjavanja je stepen usitnjavanja. Definisan je odnosom ukupne površine čestica mliva i ukupne površine čestica materijala koji se dovodi na usitnjavanje ili odnosom prosečne veličine čestica materijala pre usitnjavanja i čestica mliva. Ipak, iz praktičnih razloga, kao indirektni kvantitativni pokazatelj usitnjavanja znatno više se koristi granulacioni sastav mliva koji se određuje analizom sejanja. On daje zadovoljavajuće rezultate pogotovo ako se pri analizi sejanja u oblasti sitnih frakcija mliva koristi veći broj rama sita u slogu [85].

Obzirom na značajne razlike u hemijskom sastavu anatomskih delova zrna, selektivnim usitnjavanjem, odnosno razdvajanjem anatomskih delova zrna, u međuproizvodima mlevenja kao i u finalnim i sporednim proizvodima mlevenja dolazi do povećanja ili smanjenja sadržaja pojedinih hemijskih komponenti zrna. Različita raspodela hemijskih sastojaka po anatomskim delovima zrna koristi se kao osnova za pogonsku kontrolu tehnološkog postupka mlevenja pšenice.

Ispitivanja su pokazala da pasażna brašna pokazuju razlike u sadržaju i sastavu proteina [86], sadržaju i svojstvima pentozana [87], sadržaju masti i sastavu masnih kiselina [88,89,90], tipu enzimske aktivnosti [91]. Jensen i sar. [92] predložili su metodu koja se zasniva na specifičnoj autofluorescenciji pojedinih anatomskih delova kao indikatora njihovog udela u frakcijama mliva. Ispitivanja Peyron-a i sar. [93] i Antoin-a i sar. [94] pokazala su da između anatomskih delova zrna postoji značajna razlika u sadržaju i sastavu fenolnih kiselina. Po njihovom predlogu, ostvareni stepen razdvajanja anatomskih delova zrna može se utvrditi određivanjem sadržaja tzv. biohemijjskih markera (ferulinska kiselina, *trans*-sinapinska kiselina, dehidrodimer ferulinske kiseline) u frakcijama mliva. Ipak, treba istaći da većina prethodno navedenih metoda ima, bar za sada, još uvek samo teorijski značaj, jer se zasniva na dugotrajnim i relativno skupim analizama i nema primenu u pogonskoj kontroli tehnološkog postupka mlevenja pšenice.

Među kvalitativnim pokazateljima efektivnosti usitnjavanja najviše se koristi sadržaj pepela u međuproizvodima i brašnu. U našoj zemlji, poznavanje sadržaja pepela dobija na značaju i zbog činjenice da se po važećoj zakonskoj regulativi tipizacija brašna zasniva na sadržaju pepela u brašnu. Treba istaći da su neke hemijske komponente, poput npr. celuloze, oštrije raspoređene po anatomskim delovima zrna od pepela, ali je njihovo određivanje složenije, dugotrajnije, iziskuje veće troškove i odlikuje se manjom reproduktivnošću.

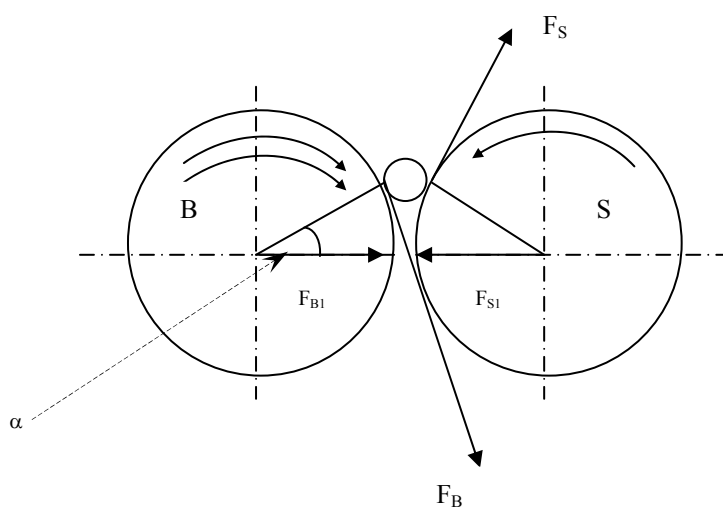
Energetski pokazatelji su pomoćni pokazatelji za ocenu efekata usitnjavanja. Od energetskih pokazatelja najviše se koristi specifični utrošak energije. Specifični utrošak energije se definiše kao utrošena količina energije po jedinici mase usitnjenog materijala (ili po jedinici novonastale površine mliva) ili po jedinici mase finalnog proizvoda. On zavisi od stepena usitnjavanja, strukturno-mehaničkih osobina pšenice, parametara usitnjavanja, postupka pripreme pšenice za mlevenje i posebno od kruženja mliva u postupku mlevenja [85].

### **2.3.1 Usitnjavanje pšeničnog zrna mlinskim valjcima**

Kada je u pitanju mlevenje pšenice, mlinski valjci u poređenju sa ostalim uređajima za usitnjavanje imaju prednost jer omogućavaju najefikasnije selektivno usitnjavanje i dobijanje maksimalne količine međuproizvoda i brašna odgovarajućeg kvaliteta. Mašine sa udarnim dejstvom obrtnih radnih elemenata (80 m/s pa i više) doprinose racionalizaciji postupka usitnjavanja u pojedinim fazama mlevenja, ali se ipak koriste kao pomoćne

mašine u odnosu na mlinske valjke jer ne omogućavaju kontrolisano selektivno usitnjavanje [56,85].

Da bi se razjasnila suština pojava koje nastaju pri usitnjavanju zrna mlinskim valjcima razmotriće se dejstvo sila na česticu usitnjavanog materijala u mlevnom prostoru (sl.5). Mlevni prostor formira par valjaka koji se obrću jedan prema drugom različitim obimnim brzinama. Dužina mlevnog prostora predstavlja deo obima valjaka od tačke gde čestica koja se usitnjava prvi put dodirne površinu valjaka do najužeg dela zazora (razmaka) između valjaka. Na česticu u mlevnom prostoru istovremeno deluju sile smicanja i sabijanja [15,71,95,96].



**Sl. 5 - Šema dejstva sila na česticu u mlevnom prostoru valjaka**

U tački zahvata (sl.5), na česticu deluju sile smicanja:  $F_B$ -sa strane brzohodnog valjka i  $F_S$ -sa strane sporohodnog valjka. Sile smicanja usmerene su tangencijalno na površinu valjaka, pri čemu  $F_B$  teži da uvuče česticu u mlevni prostor, a  $F_S$  da česticu izbaci iz mlevnog prostora zbog različitih obimnih brzina valjaka. Sile  $F_B$  i  $F_S$  stvaraju uslove za drobljenje čestice smicanjem. Na česticu u mlevnom prostoru takođe deluju i sile sabijanja  $F_{B1}$  i  $F_{S1}$  koje dostižu svoje maksimalne vrednosti na liniji koja spaja centre preseka valjaka. Ove dve sile jednake su po veličini, ali su usmerene u suprotnom smeru [85].

Od značaja je ne samo veličina pomenutih sila nego i njihov odnos kao i brzina prenošenja dejstva sila-brzina deformacije. Odnos sila  $F_B$  i  $F_S$  određen je prenosnim odnosom, a njihova veličina raste sa povećanjem obimnih brzina valjaka. Pritisak sila  $F_{B1}$  i  $F_{S1}$  određuje intenzitet sabijanja čestica u mlevnom prostoru zavisno od opterećenja valjaka, razmaka između valjaka i strukturno-mehaničkih osobina materijala koji se

usitnjava. Sa povećanjem brzine prenošenja dejstva sila na usitnjavani materijal stvaraju se uslovi za lomno drobljenje kao najefikasniji oblik deformacije [12].

Ukoliko je površina valjaka žlebljena, čestica u mlevnom prostoru, pored deformacije sabijanja i smicanja, može biti izložena i deformaciji rezanja (oblik deformacije smicanja) [40].

### **2.3.2 Uticaj parametara usitnjavanja na efektivnost mlevenja mlinskim valjcima**

Na efekte usitnjavanja mlinskim valjcima utiču fizičko-hemijska i strukturno-mehanička svojstva materijala koji se usitjava i parametri usitnjavanja [97]. Prema svojoj prirodi parametri usitnjavanja se mogu svrstati u:

- tehnološke (razmak između valjaka, specifično opterećenje valjaka)
- kinematičke (obimne brzine brzohodnog i sprohodnog valjka, razlika obimnih brzina valjaka i prenosni odnos) i
- geometrijske (prečnik i dužina valjaka, karakteristike radne površine valjaka (žlebljena ili glatka) – gustina odnosno broj žlebova/cm obima valjaka, nagib žlebova, uglovi žlebova, uzajamni položaj žlebova valjaka i dr).

Intenzitet i karakter sila deformacije koje deluju na česticu u mlevnom prostoru zavise od parametara usitnjavanja [15,72]. Geometrijski i kinematički parametri usitnjavanja nisu operativni u pogonskim uslovima. U toku rada mlina može se menjati razmak između valjaka, a u relativno užem opsegu i specifično opterećenje valjaka.

Ispitivanja velikog broja autora su pokazala značaj uticaja parametara usitnjavanja na efekte mlevenja bez obzira da li se radi o usitnjavanju sa žlebljenim valjcima u fazi krupljenja pšenice ili usitnjavanju sa glatkim valjcima u fazi mlevenja griza i osevaka. Ipak, sa obzirom da je tematika ovog rada usmerena na fazu mlevenja griza i osevaka, veća pažnja će se obratiti na uticaj pojedinih parametara usitnjavanja na efekte mlevenja glatkim valjcima.

*Razmak između valjaka* je parametar koji bitno utiče na efektivnost usitnjavanja zrna i međuproizvoda mlevenja. Obzirom na selektivni karakter usitnjavanja, sa postepenim smanjenjem veličine usitnjavanih čestica, veličina razmaka između valjaka odabira se u skladu sa krupnoćom usitnjavanog materijala i zahtevanim uslovima datog prolazišta mlevenja. Promenom razmaka između valjaka menjaju se sile sabijanja

materijala u mlevnom prostoru odnosno veličina sila smicanja i odnos sila smicanja i sabijanja. Pri smanjenju razmaka između valjaka naprezanje čestica materijala raste i stepen usitnjavanja mliva se povećava [12]. Sa smanjenjem razmaka između valjaka povećava se dužina puta usitnjavanja, čestice mliva su duže izložene dejstvu sila deformacije u mlevnom prostoru, što takođe doprinosi većem stepenu usitnjavanja mliva [15]. Campbell i Webb [98] i Campbell i sar. [99] navode da odnos između dimenzije čestice koja se usitnjava i razmaka između valjaka presudno utiče na stepen usitnjavanja mliva. Naša prethodna ispitivanja [100] takođe su potvrdila da, pri konstantnom razmaku između valjaka, dimenzija usitnjavane čestice (krupnoća zrna pšenice na I krupljenju) utiče kako na kvantitativne tako i na kvalitativne i energetske pokazatelje efekata usitnjavanja. Pri konstantnom razmaku između valjaka, krupnije čestice izložene su većim naprezanjima i usitnjavaju se u većoj meri od sitnijih čestica polaznog materijala. Ispitivanja većeg broja autora [12,67,72,83,98,99,101] pokazala su da u fazi krupljenja prinos ukupnog izvoda (propad kroz sito određene veličine otvora) raste sa smanjenjem razmaka između valjaka pri čemu Pančenko [85] navodi eksponencijalnu zavisnost između ova dva faktora

$$I = me^{-nx} \quad (7)$$

gde je: I(%) - ukupni izvod; x [m] - razmak između valjaka; m, n - eksperimentalni koeficijenti za dato prolazište usitnjavanja; e - osnova prirodnog logaritma.

Scanlon i sar. [96] su ispitivali uticaj različitih parametara usitnjavanja glatkim valjcima na efekte mlevenja griza. Rezultati njihovih ispitivanja pokazuju da sa smanjenjem razmaka između valjaka, uz konstantne ostale parametre usitnjavanja, rastu prinos brašna, utrošak energije za usitnjavanje i stepen mehaničke oštećenosti skroba, dok promena razmaka između valjaka nije uticala na sadržaj pepela i sadržaj proteina u brašnu. Ovakve rezultate autori objašnjavaju promenom relativnog odnosa sila sabijanja i smicanja u mlevnom prostoru i činjenicom da se pri datim uslovima usitnjavanja, pri smanjenju razmaka između valjaka delići klice i omotača (kao izrazito plastična tela) usitnjavaju u manjoj meri od endosperma kao drobivog tela.

Pri vrlo malim razmacima između valjaka (0,03-0,05 mm) na poslednjim prolazištima mlevenja može doći do smanjenja stepena usitnjavanja mliva usled visokog pritiska u mlevnom prostoru i povišenog zagrevanja materijala (zbog povećane transformacije mehaničke u toplotnu energiju), što utiče na pojavu plastičnih deformacija odnosno promenu oblika deformacije.

*Specifično opterećenje valjaka* predstavlja masu materijala koji se dovodi na jedinicu dužine valjaka datog prolazišta mlevenja u jedinici vremena ili jedinici ukupne

valjne dužine u jedinici vremena (prosečno specifično opterećenje valjaka). Sa povećanjem specifičnog opterećenja valjaka menja se odnos sila smicanja i sabijanja usled povećanja sila sabijanja što pri visokim specifičnim opterećenjima izaziva povećano zagrevanje materijala i pojavu plastičnih deformacija. Ipak, pri analizi uticaja specifičnog opterećenja na učinak usitnjavanja, u obzir se moraju uzeti i razmak i *obimne brzine valjaka*. Povećanjem specifičnog opterećenja, usled povećanja pritiska na valjke, može doći do razmicanja trupaca što smanjuje sile sabijanja u mlevnom prostoru. U uslovima znatnijeg povećanja specifičnog opterećenja valjaka teško je održati konstantan razmak između valjaka (pogotovo pri ekstremno velikim opterećenjima) jer se, usled pojačanog dejstva sila sabijanja, povećava razmak između valjaka što za posledicu ima manji stepen usitnjavanja mliva [12]. Povećanjem specifičnog opterećenja valjaka povećava se kapacitet prerade, što mora biti praćeno adekvatnim povećanjem obimnih brzina valjaka da ne bi došlo do zagušenja, ali se istovremeno i pogoršavaju uslovi za selektivno usitnjavanje. Po teoriji koju se predstavili Perry i Chilton [102] akcija usitnjavanja proporcionalna je odnosu specifičnog opterećenja i obimnih brzina valjaka. Pri konstantnim obimnim brzinama valjaka, sa povećanjem specifičnog opterećenja, smanjuje se nivo usitnjavanja svake pojedinačne čestice u mlevnom prostoru valjaka. Nausprot tome, pri konstantnom specifičnom opterećenju, sa povećanjem obimnih brzina valjaka povećava se intenzitet akcije usitnjavanja.

Uticaj specifičnog opterećenja valjaka na efekte mlevenja u fazi krupljenja bio je predmet ispitivanja većeg broja autora [83, 85, 103, 104] (navode se samo neki od njih) pri čemu su pomenuta ispitivanja uglavnom bila ograničena na jedno (najčešće I krupljenje) ili dva prolazišta krupljenja dok je Tanović [12] dao sveobuhvatnu analizu uticaja ovog parametra na efekte usitnjavanja u fazi krupljenja (pet prolazišta krupljenja).

Maksimčuk [104] je utvrdio da povećanje specifičnih opterećenja valjaka na prolazištu prvog mlevenja griza (1M) uslovljava smanjenje prinosa brašna uz istovremeno povećanje sadržaja pepela u brašnu i specifičnog utroška energije. Rezultati Scanlon-a i Dexter-a [95] potvrđuju prethodno pomenuta zapažanja pri čemu pomenuti autori navode da smanjenje specifičnog opterećenja valjaka pri mlevenju griza glatkim valjcima za rezultat ima porast prinosa brašna, bolji kvalitet brašna u smislu nižeg sadržaja pepela i svetlije boje brašna, dok promena specifičnog opterećenja valjaka nije uticala na stepen mehaničke oštećenosti skroba. Ovi rezultati su u saglasnosti sa pomenutom teorijom Perry-ja i Chilton-a [102].

Sa smanjenjem specifičnog opterećenja valjaka specifični utrošak energije za usitnjavanje se smanjuje, ali se ukupni utrošak energije po jedinici mase proizvedenog brašna povećava usled smanjenja kapaciteta mlina. Skraćenje tehnološkog postupka mlevenja i povećanje učinka mlinova nije moguće bez većih specifičnih opterećenja valjaka što je od velikog značaja za kapacitet i ekonomičnost rada u mlinu. Sa povećanjem obimnih brzina valjaka raste njihova propusna moć [12]. Danas se smatra da prosečno specifično opterećenje valjaka u mlinu nebi smelo biti ispod  $70 \text{ kg/cm}^{24\text{h}}$ , dok u racionalnim mlinovima ono dostiže  $90 \text{ kg/cm}^{24\text{h}}$  pa i više.

Nezavisno od prethodno pomenutih razmatranja uticaja obimnih brzina valjaka u sklopu sa specifičnim opterećenjima valjaka treba istaći da obimne brzine valjaka bitno utiču na brzinu prenošenja dejstva sila deformacije sa valjaka na česticu koja se nalazi u mlevnom prostoru. Povećanje obimnih brzina valjaka za posledicu ima povišenje stepena usitnjavanja mliva u svim fazama tehnološkog postupka što je posledica intenzivnijeg delovanja na čestice usitnjavanog materijala [43,85]. Ovo je praćeno pogoršanjem kvaliteta međuproizvoda i brašna, što je manje izraženo kod prolazišta prvog kvaliteta, a primetno naglašenije kod prolazišta koja obrađuju materijal drugog kvaliteta [12,85]. Veće obimne brzine zahtevaju veću pogonsku snagu za održavanje određenog broja obrtaja valjaka što povećava utrošak energije u mlinu. Sa ovog aspekta valjke treba pokretati pri najnižem broju obrtaja kojim se obezbeđuje željeni kapacitet. Ipak, ovaj podatak se ne može posmatrati nezavisno nego u sklopu sa racionalnošću tehnološkog postupka u celini, odnosno sveobuhvatnom ekonomičnošću rada mlina koja u savremnim mlinovima podrazumeva veća specifična opterećenja, a samim tim i adekvatne obimne brzine valjaka. Današnje valjne stolice, sa savremenim tipom ležajeva (valjčasti), omogućavaju obimne brzine brzohodnog valjka  $>10 \text{ m/s}$ , sa tim da one retko prelaze  $12 \text{ m/s}$ .

Iako je uticaj obimnih brzina valjaka na efekte mlevenja, i u fazi krupljenja i u fazi mlevenja griza i osevaka, bio predmet ispitivanja većeg broja autora [12,83,85,104,105,106], ne postoji opšta saglasnost po pitanju optimalnog nivoa obimnih brzina u mlinovima tako da se ono još uvek kreće u dosta širokom intervalu. Tako Naumov i Maslov [105] za 1M preporučuju obimne brzine valjaka i do  $12 \text{ m/s}$  (uz određeno prilagođavanje ostalih uslova usitnjavanja da ne bi došlo do pogoršanja kvaliteta brašna). Merko [85] navodi da na prolazištima odbrašnjavanja obimna brzina ne bi trebalo da prelazi  $4\text{-}5 \text{ m/s}$ , dok Knauff [107] pri mlevenju sa glatkim valjcima preporučuje brzine do  $6,5 \text{ m/s}$ .



Scanlon i Dexter [95], ispitujući efekte usitnjavanja pri broju obrtaja brzohodnog valjka od 460, 550 i 780 o/min (što pri prečniku valjaka od 250 mm odgovara obimnim brzinama od 6.0, 7.2 i 10.2 m/s), navode da povećanje obimnih brzina valjaka prati porast prinosa brašna i utroška energije, smanjenje sadržaja pepela u brašnu i poboljšanje boje brašna, dok promena navedenog parametra nema uticaja na stepen mehaničke oštećenosti skroba. Ovakve rezultate, pomenuti autori tumače činjenicom da se pri datim uslovima usitnjavanja (glatki valjci i relativno mali prenosni odnos), povećanjem obimnih brzina valjaka povećava intenzitet usitnjavanja endosperma, dok se čestice spoljašnjih slojeva zrna presuju i ne upadaju u brašno. I rezultati naših prethodnih ispitivanja [108] pokazuju slične trendove promene pokazatelja efektivnosti usitnjavanja griza (različite granulacije i kvaliteta) sa promenom obimnih brzina valjaka pri konstatnom prenosnom odnosu. Stepnasto povećanje obimnih brzina u intervalu od 3 do 6 m/s, pri prenosnom odnosu od 1.25, rezultiralo je porastom prinosa brašna i specifičnog utroška energije, dok praktično ne dolazi do promene sadržaja pepela u brašnu.

*Prenosni odnos* -  $i = v_b / v_s$ , definisan je odnosom obimnih brzina brzohodnog i sporohodnog valjka i utiče na odnos sila smicanja i sabijanja u mlevnom prostoru. Sa povećanjem prenosnog odnosa smanjuje se deformacija sabijanja, a povećava se deformacija smicanja [15,43]. Sa povećanjem prenosnog odnosa povećava se stepen usitnjavanja mliva, pri čemu se kvalitet izvoda po pepelu u izvesnoj meri pogoršava – posebno kod usitnjavanja materijala koji u većoj meri sadrži omotač zrna [85].

Veći broj autora [12,71,83,85,103] se bavio ili navodi rezultate ispitivanja uticaja prenosnog odnosa na efekte mlevenja žlebljenim valjcima, ali sa obzirom na predmet istraživanja u ovoj disertaciji navedena ispitivanja su od manjeg značaja te se neće detaljnije razmatrati. Danas se uglavnom u ovoj fazi mlevenja koristi prenosni odnos od 2.5.

Ispitivanja ruskih autora [85,104] pokazuju da kod prolazišta mlevenja griza i osebaka sa porastom prenosnog odnosa, pri stalnoj obimnoj brzini brzohodnog valjka, dolazi do znatnijeg porasta prinosa brašna i određenog povećanja sadržaja pepela, pri čemu je utvrđeno smanjenje specifičnog utroška energije (računat na jedinicu mase brašna) do određene granice nakon čega sledi porast ovog pokazatelja.

Više autora, ispitujući uticaj prenosnog odnosa na efekte mlevenja griza glatkim valjcima, navodi približno slične trendove promene različitih pokazatelja efektivnosti usitnjavanja. Scanlon i Dexter [95], Scanlon i sar. [96] navode da povećanje prenosnog odnosa prati povećanje stepena mehaničke oštećenosti skroba, zatim pogoršanje kvaliteta

brašna po pitanju sadržaja pepela i boje i porast specifičnog utroška energije (računat po jedinici mase usitnjavanog materijala). Uz prethodno pomenute autore i Wanzenreid [109] i Zwingelberg i sar. [110] takođe navode rast utroška energije, a Evers i sar. [111] povećanje stepena mehaničke oštećenosti skroba sa povećanjem prenosnog odnosa. Po pitanju prinosa brašna karakteristično je da postoji prelomna tačka, odnosno da prinos brašna raste sa povećanjem prenosnog odnosa do određene granice, nakon čega dalje povećanje prenosnog odnosa ne doprinosi porastu prinosa brašna ili čak dolazi i do smanjenja prinosa. Postoji izvesna razlika među autorima po pitanju visine prenosnog odnosa kod koje se javlja pomenuti prelom tako da Scanlon i Dexter [95] navode  $i=1.4$ , Scanlon i sar. [96]  $i=1.5$ , a Evers i sar. [111]  $i=1.25$ . Pri ovim, relativno malim prenosnim odnosima, dominiraju sile deformacije sabijanja pri kojima dolazi do efektivnog usitnjavanja endosperma kao drobitog tela dok se čestice omotača i klice, kao tipično plastična tela, pri ovakvom odnosu sila deformacije u mlevnom prostoru presuju.

Rezultati naših prethodnih ispitivanja [108] u skladu su sa navedenim trendovima pri čemu je pomenuti prelom uočen pri  $i=1.25$ . Pri ovom prenosnom odnosu ostvaren je maksimum prinosa brašna i minimum specifičnog utroška energije za usitnjavanje (računat po jedinici mase brašna). Dalje povećanje prenosnog odnosa praćeno je smanjenjem prinosa brašna, porastom specifičnog utroška energije i porastom sadržaja pepela u brašnu.

*Razlika obimnih brzina valjaka* -  $v_b-v_s$ , pri konstantnom prenosnom odnosu, utiče na brzinu deformacije čestica u mlevnom prostoru i sa njenim povećanjem raste stepen usitnjavanja mliva.

Sa smanjenjem *prečnika valjaka* skraćuje se put čestice kroz mlevni prostor, a povećava se ugao zahvata [85]. Sa povećanjem prečnika valjaka povećava se put mliva u mlevnom prostoru usled čega je čestica duže izložena dejstvu sila deformacije što za posledicu ima veći stepen usitnjavanja mliva [15]. Sa druge strane, valjci većeg prečnika deluju većim pritiskom na čestice u mlevnom prostoru što za rezultat može imati i veći stepen presovanja čestica [8]. Niernberger i Farrell [112], poredeći rezultate mlevenja na I krupljenju, navode da se najniži sadržaj pepela u brašnu ostvaruje pri prečniku valjaka od 228 mm. U fazi mlevenja griza i osevaka bolje rezultate daju valjci većeg prečnika 300-350 mm, ali je danas prečnik valjaka uglavnom standardizovan na 250 mm u svim fazama tehnološkog postupka, a prisutni su, u manjoj meri, i valjci prečnika 220 mm.

*Dužina valjaka* (trupaca) je takođe standardizovana i najčešće su u upotrebi valjci dužine 1000 i 800 mm, iako se, u manjoj meri, koriste i valjci od 1250, 600 i 500 mm, dok su valjci dužine 1500 mm potpuno napušteni jer se sa povećanjem dužine valjaka povećava

naprezanje na savijanje trupaca. Poželjno je da se u okviru mlina, na svim prolazištima mlevenja, koriste valjci istog prečnika i dužine što ima određene operativne prednosti.

*Oblik i stanje radne površine valjaka* značajno utiču na efekte usitnjavanja. U upotrebi su dve vrste valjaka: žlebljeni - koji se koriste u fazi krupljenja i »glatki« – koji se koriste u fazi mlevenja griza i osevaka. Površina tzv. glatkih valjaka nije idealno glatka (jer bi u protivnom došlo do proklizavanja mliva) nego ispunjena izuzetno finim porama ( $\phi$  3 - 5  $\mu$ m) što se postiže specijalnim postupkom elektro-varničenja. Obzirom na činjenicu da je tematika ovog rada usmerena na fazu mlevenja griza i osevaka, samo će se navesti, bez detaljnijeg razmatranja, neki od radova koji se bave ispitivanjem uticaja parametara kao što su gustina odnosno broj žlebova/cm obima valjka, nagib žlebova, uglovi žlebova, uzajamni položaj žlebova valjaka na efekte mlevenja [68,69,70,71,72,73,113,114,115,116,117,118, 119].

## **2.4 KRATAK PRIKAZ TEHNOLOŠKOG POSTUPKA MLEVENJA PŠENICE**

### **2.4.1 Usitnjavanje pšenice u fazi krupljenja**

Krupljenje je prva, najsloženija i najvažnija faza u tehnološkom postupku mlevenja pšenice. Od vođenja ove faze zavisi uspeh celokupnog tehnološkog postupka proizvodnje brašna. Cilj faze krupljenja je da se dobije 65-70% čestica endosperma u obliku griza i osevaka (oslobođenih od omotača, aleuronskog sloja i klice) odgovarajuće krupnoće zbog efikasnijeg prosejavanja na planskim sitima i daljeg obogaćivanja (čišćenja) na čistilicama griza. Ovo se postiže višestepenim usitnjavanjem na određenom broju prolazišta krupljenja. Broj prolazišta krupljenja zavisi od svojstava pšenice i vođenja tehnološkog postupka mlevenja pri čemu je racionalno do pet prolazišta [43], a u ne malom broju savremenih mlinova fazu krupljenja čine četiri prolazišta.

Prva tri prolazišta krupljenja su najvažnija jer ona određuju prinos i kvalitet brašna koje će se dobiti pri usitnjavanju griza i osevaka, dok je zadatak zadnjih prolazišta krupljenja da obezbede što bolje uklanjanje zaostalih čestica endosperma od mekinjastog materijala (odbrašnjavanje) koji dolazi na ova prolazišta [85].

Krupljenje se obavlja žlebljenim valjcima. Idući od I ka V krupljenju broj žlebova po cm obima valjaka se povećava, povećava se nagib žlebova, a razmak između valjaka se

smanjuje (od 0,5-0,7 mm na I krupljenju do cca 0,05 mm na poslednjem prolazištu krupljenja) [43].

Nakon usitnjavanja zrna, odnosno međuproizvoda mlevenja zrna na određenom prolazištu krupljenja, mlivo se odvodi na prosejavanje, gde se prema krupnoći razvrstava na: krupni i sitni prelaz krupljevine; krupni, srednji i sitni griz; osevke i brašno. Krupljevina se odvodi na odgovarajuće prolazište krupljenja, griz se usmerava na čistilice griza (obogaćivanje) i nakon toga na usitnjavanje griza, osevci se vode na sita za razvrstavanje (sortiranje) osevaka, a zatim na prolazišta mlevenja osevaka, dok se brašno kao finalni proizvod izdvaja iz tehnološkog postupka [12].

Danas se smatra racionalnim kruženje mliva u granicama od 400-450% u celom tehnološkom postupku mlevenja pšenice, pri čemu se kruženje mliva u fazi krupljenja obično kreće u intervalu od 220-270%.

#### 2.4.2 Čišćenje griza

Griz dobijen razvrstavanjem na planskim sitima sadrži pored čestica čistog endosperma i čestice endosperma sa priljubljenim delovima omotača (okrajci) i čestice omotača sa neznatnim sadržajem endosperma. Razdvajanje ovih čestica, koje nije moguće postići jednostavnim prosejavanjem na planskim sitima, obavlja se na čistilicama griza zahvaljujuću razlikama u krupnoći i aerodinamičkim osobinama [8]. Na čistilicama griza dobijaju se sledeće frakcije:

- propad (uglavnom čist griz različite krupnoće),
- prelaz (u kome su najzastupljeniji okrajci),
- prelet (čist omotač) i
- odlet (vrlo sitni delići endosperma – brašno i sitni delići omotača koje odnosi vazдушna struja).

Osnovni zadaci čistilica griza su razdvajanje čestica čistog endosperma (griza) od okrajaka, razvrstavanje griza po krupnoći i, kada materijal koji dolazi na čistilicu nije dobro odbrašnjen, odvajanje brašna koje nosi vazдушna struja sa odletom i izdvaja se u aspiracionim filterima. Čist griz se, u zavisnosti od krupnoće, usmerava na odgovarajuće prolazište u fazi mlevenja griza i osevaka, dok se okrajci usmeravaju na odgovarajuće prolazište krupljenja pri čemu ne sme doći do kruženja mliva u okviru istog prolazišta mlevenja, a još manje da se deo mliva vraća na prethodna prolazišta mlevenja.

Međuproizvode mlevenja treba usmeravati samo na naredna prolazišta mlevenja. Prolazišta mlevenja okrajaka su, u sklopu skraćanja i racionalizacije tehnološkog postupka mlevenja pšenice, u savremenom mlinarstvu napuštena.

Efekat čišćenja griza meri se na osnovu mase i kvaliteta očišćenog griza u odnosu na masu i kvalitet neprečišćenog griza. Efekat rada čistilice griza zavisi od niza faktora - ujednačenosti čestica po veličini, ravnomernosti doziranja materijala po celoj širini sita čistilice, uslova strujanja vazduha, izbora sejnog tkiva, efikasnosti čišćenja sejnog tkiva i opterećenja čistilice griza [8]. Treba istaći da ima mlinskih pogona koji u svom tehnološkom postupku nemaju uključene čistilice griza i čija je proizvodnja najvećim delom usmerena na brašno za proizvodnju hleba i nekih konditorskih proizvoda.

### 2.4.3 Usitnjavanje griza i osevaka

U okviru faze mlevenja griza i osevaka razlikuju se dve etape: rastvaranje griza i mlevenje griza i osevaka, pri čemu broj prolazišta mlevenja u okviru pomenutih etapa može biti različit, a zavisi od dijagrama mlevenja odnosno postavke tehnološkog postupka mlevenja pšenice.

Osnovni cilj rastvaranja griza je redukcija krupnoće griza uz ostvarivanje relativno manjeg prinosa brašna pri čemu pomenuto treba ostvariti bez usitnjavanja spoljašnjih slojeva zrna. Mlevenje srednjeg i sitnog griza i osevaka predstavlja završnu etapu tehnološkog postupka mlevenja pšenice čiji je osnovni cilj što veći prinos brašna odgovarajućeg kvaliteta (sa što manjim sadržajem pepela). Treba istaći da se sa skraćanjem tehnološkog postupka, odnosno smanjenjem broja prolazišta mlevenja, sve više smanjuje jasno izražena razlika između prolazišta rastvaranja i mlevenja griza. U savremenim racionalnim mlinovima u ovu fazu mlevenja se uključuje ne više od 6 do 8 prolazišta mlevenja.

Najbolji rezultati mlevenja u ovoj fazi tehnološkog postupka postižu se upotrebom glatkih valjaka uz mali prenosni odnos (najčešće  $i = 1,25$ ), tako da u mlevnom prostoru dominiraju sile deformacije sabijanja. Razmak između valjaka se postepeno smanjuje od prolazišta rastvaranja griza (cca 0,15 mm) do zadnjih prolazišta mlevenja griza i osevaka (cca 0,03 mm pa čak i  $<0,03$  mm). Racionalno kruženje mliva u ovoj fazi mlevenja kreće se u granicama od 180-200%.

Nakon usitnjavanja na glatkim valjcima, mlivo se prosejava na planskim sitima, pri čemu se dobijaju najčešće 2 ili 3 pasazna brašna različite granulacije i prelazi koji se, u

zavisnosti od kvaliteta (preovlađuju grizaste ili mekinjaste čestice) usmeravaju na neka od narednih prolazišta mlevenja griza i osevaka ili na odgovarajuće prolazište krupljenja (ne sme doći do kruženja mliva).

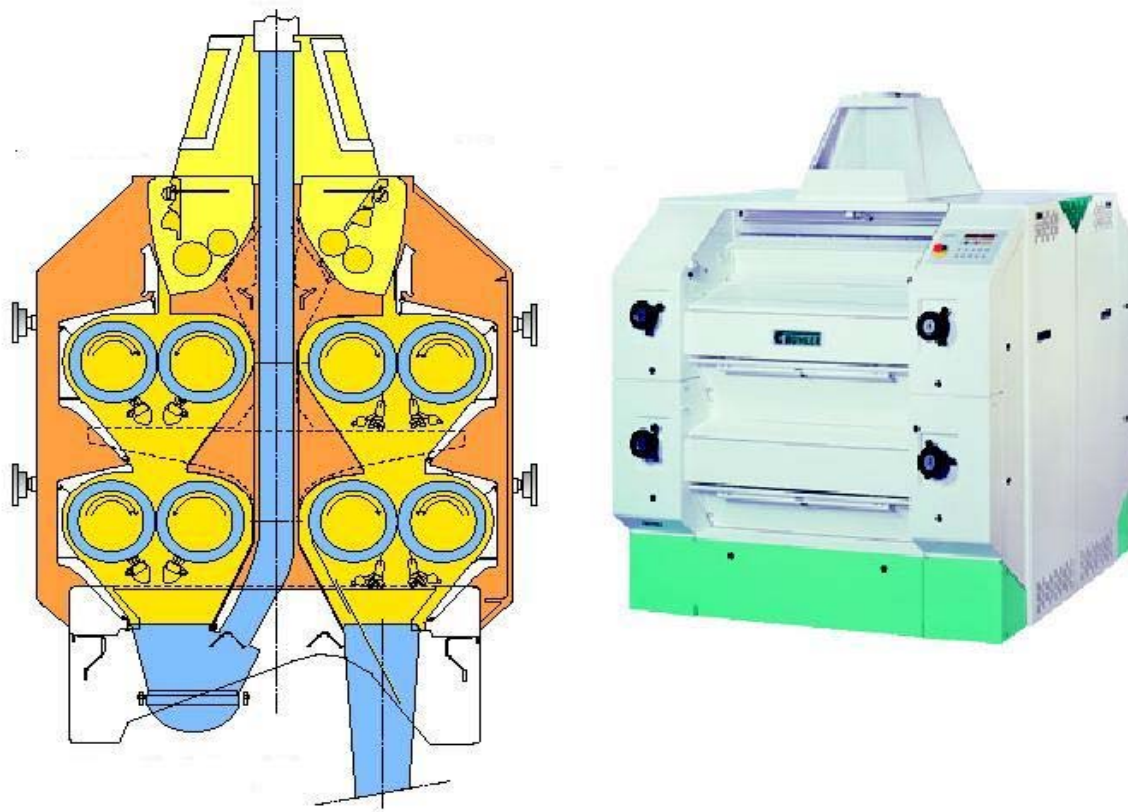
## **2.5 PRIMENA OSMOVALJNE STOLICE U TEHNOLOŠKOM POSTUPKU MLEVENJA PŠENICE**

Tehnološki postupak mlevenja pšenice sastoji se od dve osnovne faze: krupljenje pšenice i mlevenje griza i osevaka. Svaka od pomenutih faza sastoji se od određenog broja prolazišta mlevenja pri čemu se razlikuju prolazišta prvog i drugog kvaliteta.

Na osnovu broja prolazišta mlevenja razlikuju se tri tipa meljave: visoka, poluvisoka i niska. Visoka meljava, obuhvata 6-8 prolazišta krupljenja, 2-4 prolazišta mlevenja okrajaka i 10-12 prolazišta mlevenja griza i osevaka. Potreba za racionalizacijom postupka, u cilju smanjenja investicionih, energetskih i operativnih troškova proizvodnje, uslovlila je skraćenje dužine mlevnog toka (vezano i sa nižim vođenjem valjaka), odnosno smanjenje broja prolazišta mlevenja tako da je u savremenom mlinarstvu ovaj tip meljave u potpunosti napušten. Danas dominira meljava koja ubuhvata 4-5 prolazišta krupljenja i 6-8 prolazišta mlevenja griza i osevaka sa trendom ka daljem skraćenju, tako da u ne malom broju mlinova u svetu mlevni tok obuhvata 4 prolazišta krupljenja i 6 prolazišta mlevenja griza i osevaka. Svakako da se pri skraćenju mlevnog postupka mora voditi računa i o kvalitetu finalnih proizvoda koji mora ostati na zadovoljavajućem (prihvatljivom) nivou.

Razmišljanja o daljim mogućnostima za skraćenje i pojednostavljenje tehnološkog postupka mlevenja dovela su ideju o dvostrukom usitnjavanju bez među-prosejavanja mliva do realizacije u industrijskoj praksi krajem 80-tih i početkom 90-tih godina prošlog veka za kad se vezuje i početak primene tzv. osmovaljne stolice. Inicijator ove ideje, i praktično prva kompanija za proizvodnju mlinske opreme koja je konstruisala i u praksi primenila osmovaljnu stolicu, je firma Bühler (sl.6), koja je svakako jedan od nosilaca razvoja mlinske industrije u svetu. Ovu ideju su prihvatili i drugi u svetu priznati proizvođači opreme za mlinsku industriju (Ocrim, Satake, MMW i dr.) [120,121]. Primena je najpre bila usmerena na prva prolazišta krupljenja i prva prolazišta mlevenja griza. Danas se osmovaljna stolica, pored primene na pomenutim prolazištima mlevenja, vrlo često uključuje i na drugim prolazištima mlevenja i u fazi krupljenja i u fazi mlevenja griza i osevaka [4,5,120,122], a u literaturi se navode i primeri mlinskih pogona samo sa

osmovaljnim stolicama [4]. Uz prethodno pomenute i drugi autori [6,7,8,123] navode brojne prednosti upotrebe osmovaljne stolice koje se ogledaju u značajnim investicionim, energetskim i operativnim uštedama u odnosu na klasičan postupak što će biti detaljnije ilustrovano kroz primere uporedne analize ova dva postupka.

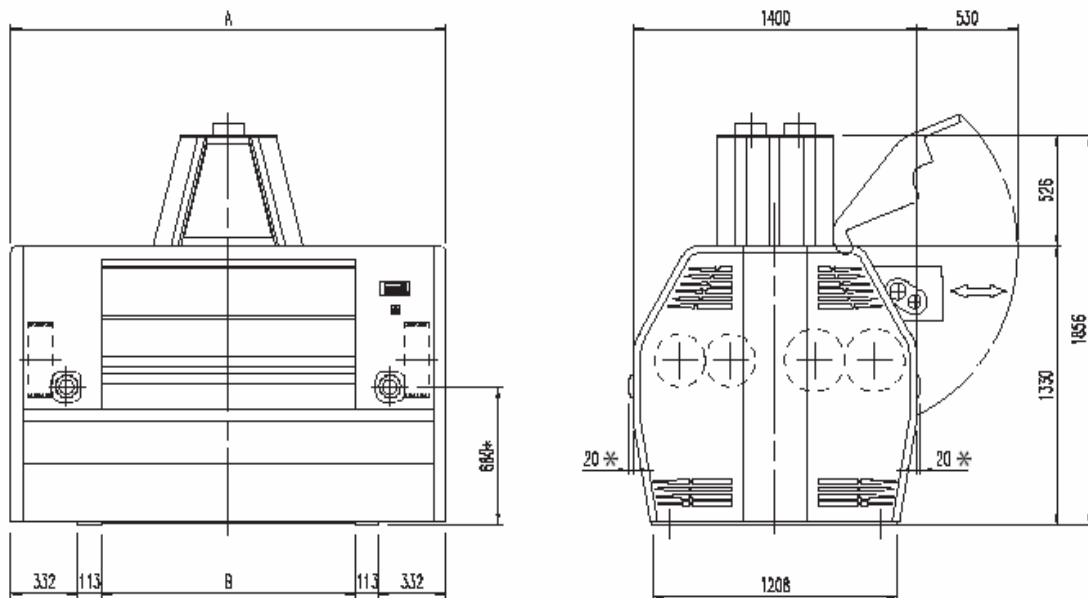


Sl.6 – Poprečni presek i izgled Bühler-ove osmovaljne stolice model MDDO

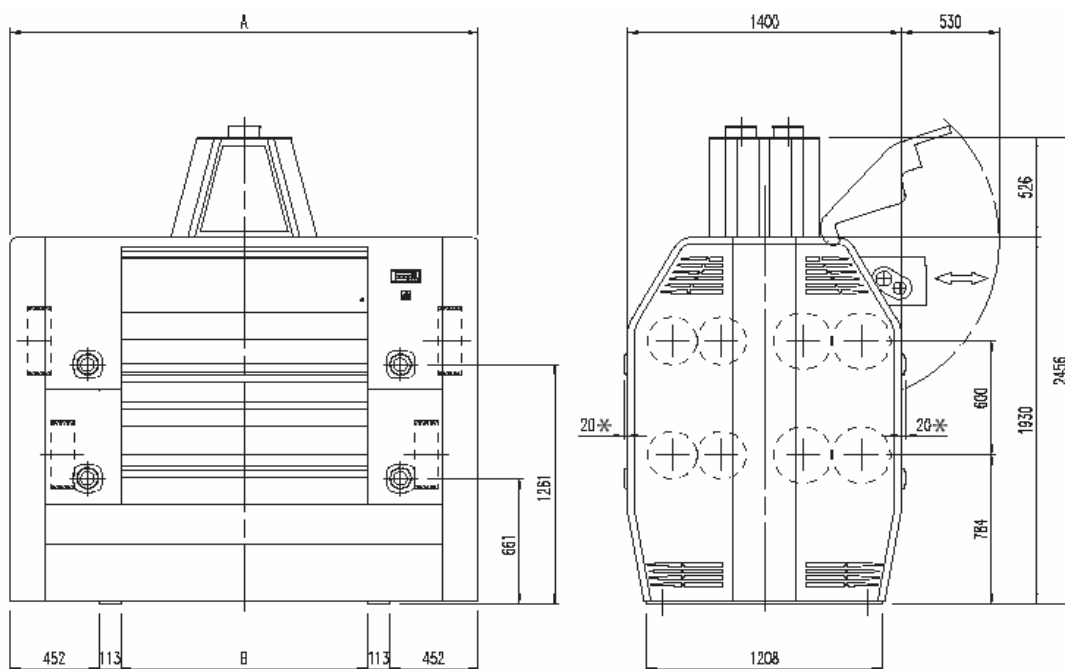
### 2.5.1 Prednosti primene osmovaljne stolice u odnosu na klasičan postupak

Uobičajeni tehnološki postupak mlevenja pšenice, uz primenu klasične duple valjne stolice (sl.7), zasniva se na naizmeničnom usitnjavanju odgovarajućeg materijala (pšenica na I krupljenju i međuproizvodi mlevenja na ostalim prolazištima) na mlinskim valjcima i prosejavanju mliva na planskom situ pri čemu se deo materijala sa planskog sita izvodi iz tehnološkog postupka (gotovi proizvodi), a deo (međuproizvodi mlevenja) upućuje na naredna prolazišta u skladu sa dijagramom mlevenja.

Kod osmovaljne stolice (sl.8) se celokupno mlivo nakon usitnjavanja na prvom (gornjem) paru valjaka, bez prosejavanja i izdvajanja izvoda, upućuje na sledeći par valjaka (neposredno ispod gornjeg para) nakon čega se prosejava na planskom situ.



Sl.7 – Uzdužni i poprečni presek klasične duple valjne stolice

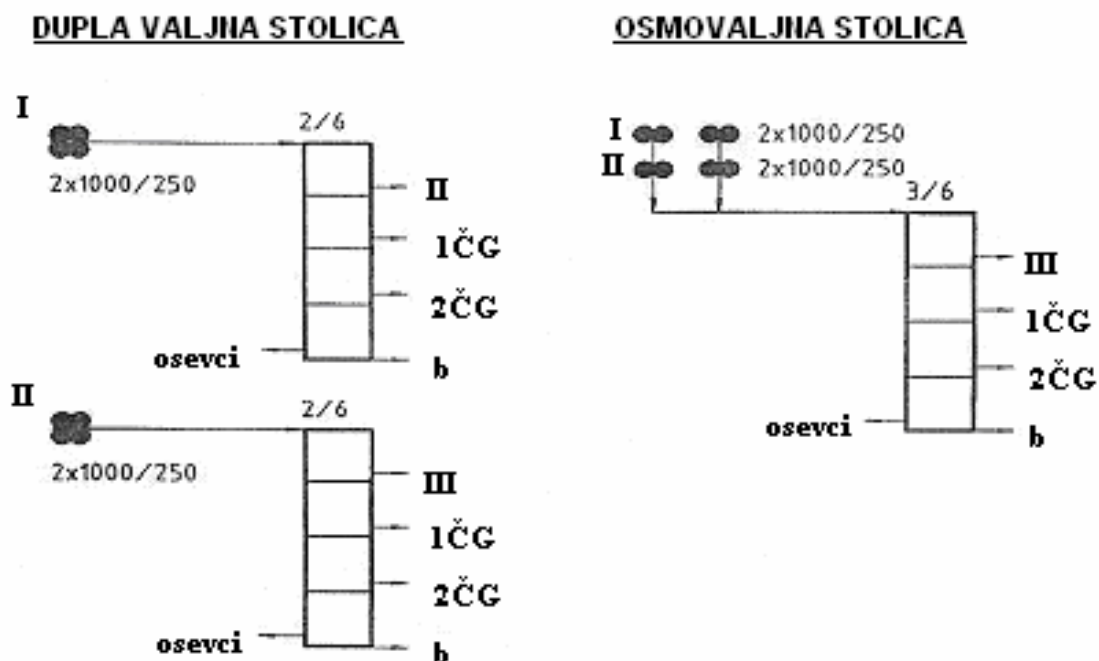


Sl.8 – Uzdužni i poprečni presek osmovaljne stolice



Wanzenried [5], na primerima prvih prolazišta krupljenja (sl.9) i prvih prolazišta mlevenja griza i osevaka (sl.10), ilustruje uštede koje se ostvaruju primenom osmovaljne stolice u odnosu na klasičan postupak sa primenom duple valjne stolice.

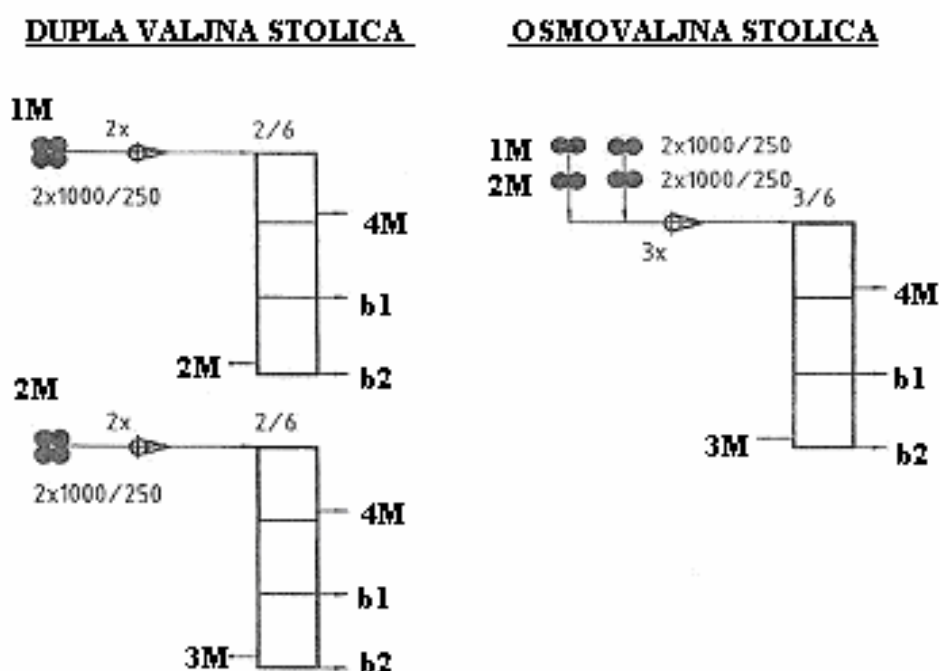
Na datom primeru za klasičan postupak usitnjavanja (sl.9), na I i II krupljenju angažovana su po dva para valjaka ( $2 \times 1000/250$ ) i po dva odeljenja šestodelnog planskog sita ( $2/6$ ). To znači da su potrebne ukupno dve duple valjne stolice (četiri para valjaka) i četiri odeljenja planskog sita. Primenom osmovaljne stolice na pomenutim prolazištima krupljenja, angažovana su četiri para valjaka i tri odeljenja planskog sita. Kako su kod osmovaljne stolice sva četiri para valjaka smeštena u jednom kućištu, očigledna je ušteta u potrebnom prostoru u objektu. Takođe postiže se ušteta u potrebnoj sejnoj površini za jedno odeljenje planskog sita. Pored toga, ne postoji potreba za pneumatskim transportom mliva sa valjaka do odeljenja planskog sita I krupljenja (energetske i uštete elementa pneumatskog transporta) i gravitacionim transportom dela materijala od sita do valjaka II krupljenja (ušteta elementa gravitacionog transporta) [5].



Sl.9 - Poređenje postupka sa klasičnom i osmovaljnom stolicom na I i II krupljenju

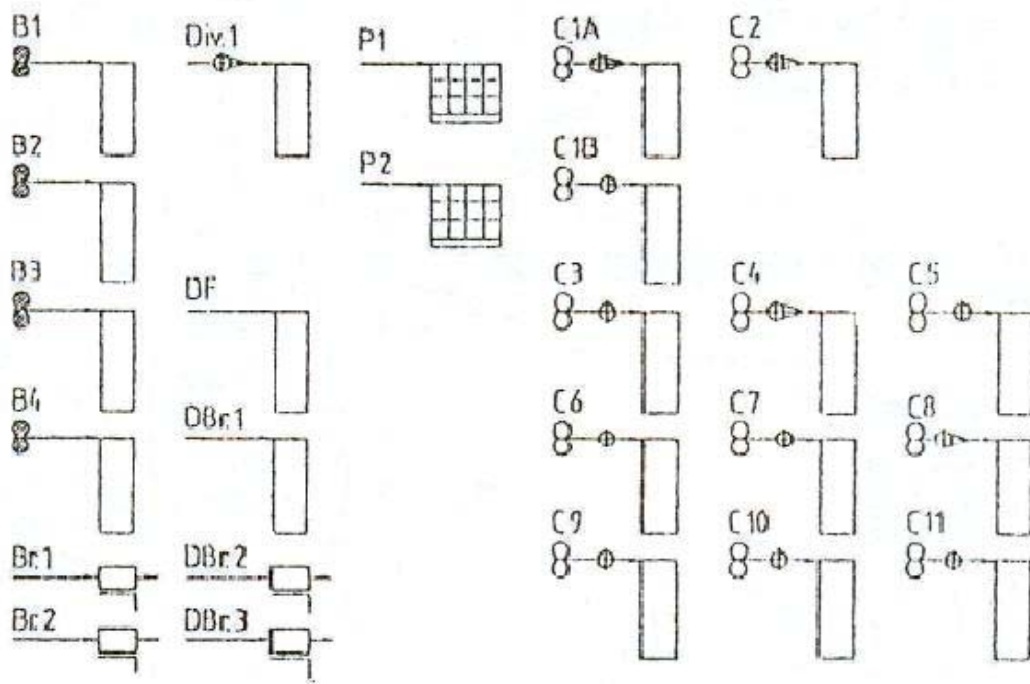
Na datom primeru (sl.10), u klasičnom postupku, za prvo i drugo prolazište mlevenja griza (1M i 2M), potrebne su dve duple valjne stolice (sa glatkim valjcima), četiri

detašera i četiri odeljenja planskog sita. Primenom osmovaljne stolice na navedenim prolazištima mlevenja potrebna su takođe četiri para valjaka (ali smeštena u jednom kućištu), tri detašera i tri odeljenja planskog sita. Kao i u prethodnom primeru za prva prolazišta krupljenja i ovde ne postoji potreba za pneumatskim transportom mliva od valjaka do odeljenja planskog sita 1M i gravitacionim transportom dela materijala od odeljenja planskog sita do valjaka 2M. I ovde se ostvaruju uštede u potrebnoj sejnnoj površini za jedno odeljenje planskog sita, zatim u delu transporta mliva između prolazišta mlevenja i smanjuje se broj angažovanih detašera sa četiri na tri [5].

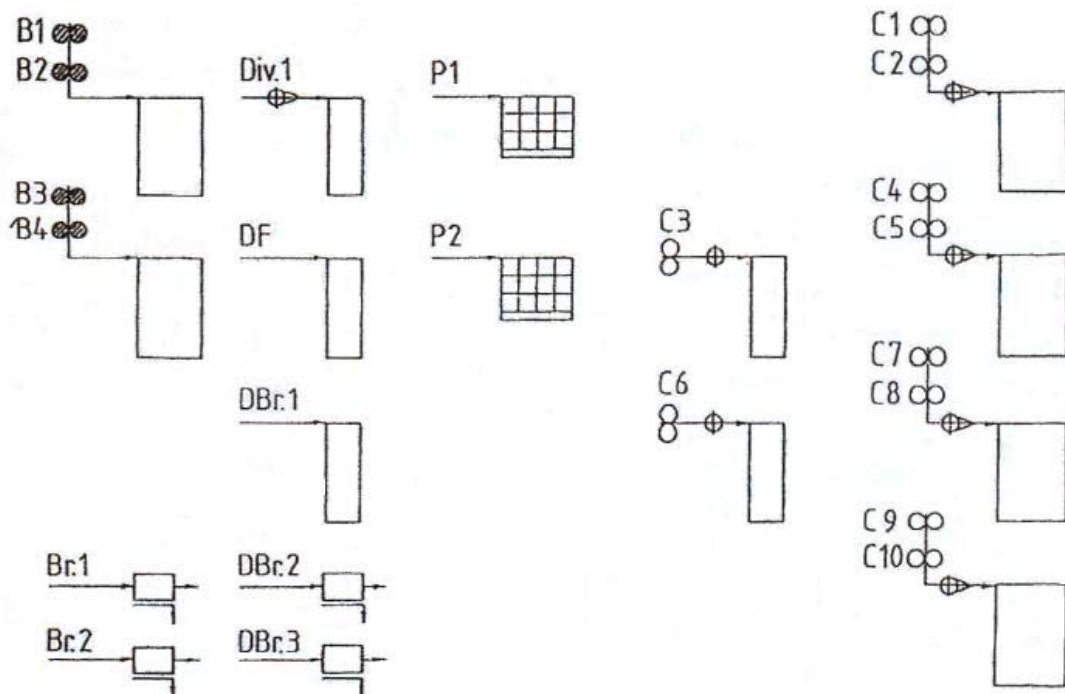


Sl.10 - Poređenje postupka sa klasičnom i osmovaljnom stolicom na 1M i 2M

Kao što je već istaknuto, primena osmovaljne stolice na početku je bila uglavnom usmerena na prva prolazišta krupljenja i prva prolazišta mlevenja griza i osevaka. Sledeći korak bio je uključivanje osmovaljne stolice na prolazištima drugog kvaliteta u fazi krupljenja i u fazi mlevenja griza i osevaka [4]. Na osnovu dijagrama mlevenja pšenice (sl.11 i sl.12), a koji se odnose na mlinove istog kapaciteta i iste strukture proizvodnje (nažalost autori ne navode detaljnije podatke niti o kapacitetu niti o strukturi finalnih proizvoda) [124,125], iako pružaju ograničene informacije, jasno se mogu uočiti prednosti primene osmovaljne stolice u odnosu na klasičan postupak.



Sl.11 – Pojednostavljeni dijagram mlevenja pšenice za klasičan postupak



Sl. 12 – Pojednostavljeni dijagram mlevenja pšenice u postupku sa primenom osmovaljnih stolicama

Mlevni tok u datom mlinu obuhvata četiri prolazišta krupljenja (B1-B4) i deset prolazišta mlevenja griza i osevaka pri čemu su, izuzev na 3M (C3) i 6M (C6) angažovane isključivo osmovaljne stolice. Poređenje dva postupka i prednosti koje se ostvaruju primenom osmovaljnih stolica u odnosu na klasičan postupak u datom mlinu autori teksta su tabelarno predstavili (tab.3).

**Tab.3 – Uporedna analiza potrebne osnovne opreme u mlinu za klasičan postupak i postupak sa primenom osmovaljnih stolica**

osnovna oprema	klasičan postupak	postupak sa primenom osmovaljnih stolica
dupla valjna stolica	8 kom	1 kom
osmovaljna stolica	-	3 kom
kvadratno 6-delno plansko sito	3 kom	1 kom
kvadratno 4-delno plansko sito	-	1 kom
dupla čistilica griza	1 kom	1 kom
broj pneumatskih uzvlaka	19 kom	11 kom

U prethodno navedenom primeru praktično se samo na dva prolazišta mlevenje obavlja na klasičnoj duploj valjnoj stolici, a već tokom 1992. godine, u Italiji i Južnoj Africi pušteni su u rad i prvi mlinovi samo sa osmovaljnim stolicama [5].

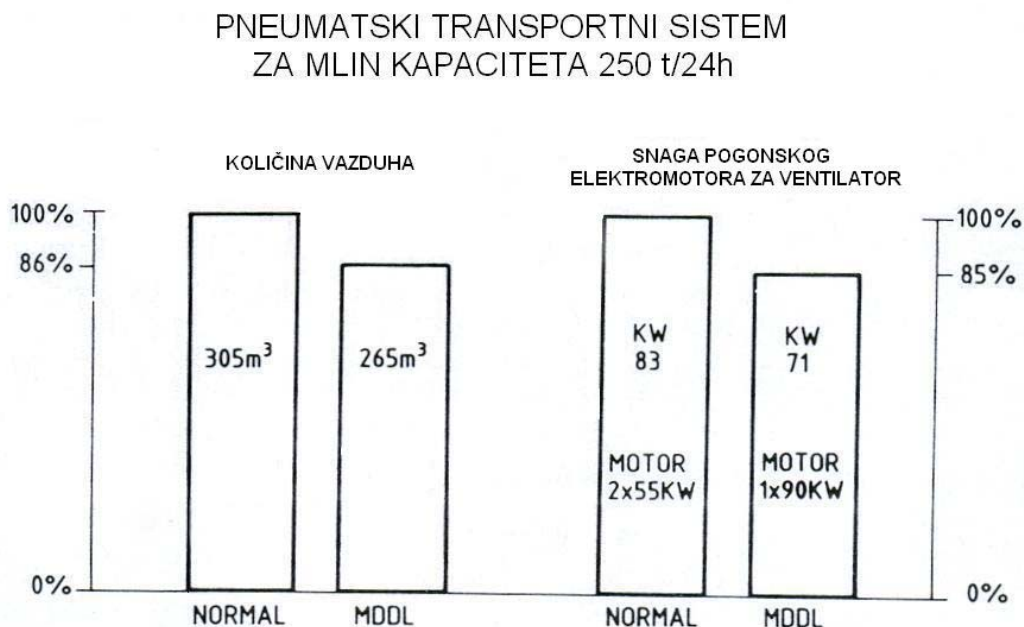
Prednosti primene osmovaljne stolice u odnosu na klasičan postupak su višestruke i ostvaruju se pre svega kroz:

- manji broj valjnih stolica,
- smanjenje potrebne sejne i filtracione površine,
- manji prostor potreban za smeštaj opreme u objektu,
- redukciju broja pneumatskih uzvlaka,
- manje gravitacionih protočnih vodova i pomoćne opreme u mlinu i
- smanjenje troškova održavanja [4,5,6,126].

Smanjenje dužine transportnih linija je jedan od efikasnijih načina za smanjenje specifičnog utroška energije u mlinu [127]. Sa smanjenjem broja pneumatskih uzvlaka smanjuje se potrebna količina vazduha za pneumatski transport, a time i snaga pogonskog

elektromotora za pneumatski ventilator što za posledicu ima smanjenje utroška energije u mlinu. Manja količina vazduha za pneumatski transport zahteva i manju filtracionu površinu što je još jedan značajan aspekt racionalizacije u odnosu na klasičan postupak. Na ovaj način smanjuje se i količina vazduha koja se emituje u spoljnu sredinu što, u svetlu sve oštrijih zahteva po pitanju zaštite životne sredine, već i danas ima ne malu prednost, a u budućnosti će još dodatno dobijati na značaju i predstavljati ne malu uštedu. Manji broj pneumatskih uzvlaka za rezultat ima i uštede u elementima pneumatskog transporta odnosno zahteva manji broj pneumatskih vodova, cikloneta i vazdušnih ustava. Sve prethodno navedeno utiče na smanjenje investicionih i energetske troškova, a takođe i bitno skraćuje vreme potrebno za instalaciju pneumatskog sistema.

Wanzenreid [5] prikazuje (sl.13) poređenje pneumatike na primeru mlina kapaciteta 250 t/dan po kome, u postupku sa osmovaljnom stolicom, potrebna količina vazduha i snaga pogonskog elektromotora za ventilator iznose oko 85% od datih potreba za isti kapacitet mlina u klasičnom postupku (MDDL označava postupak uz primenu osmovaljnih stolica). Nažalost autor u tekstu ne navodi da li se radi o mlinu samo sa osmovaljnim stolicama ili se radi o pogonu koji samo na nekim od prolazišta mlevenja ima angažovane osmovaljne stolice.



**Sl.13 – Poređenje potreba za pneumatski transport u klasičnom postupku (normal) i uz primenu osmovaljnih stolica (MDDL)**

Baltensperger [4] navodi, na primeru mlina kapaciteta 288 t/dan opremljenog samo sa osmovaljnim stolicama, da je potrebna količina vazduha za pneumatski transport oko  $220 \text{ m}^3$  vazduha što predstavlja oko 60% od količine vazduha potrebne za pneumatski transport u mlinu istog kapaciteta sa klasičnim postupkom koja iznosi oko  $370 \text{ m}^3$  vazduha. Na ovaj način se utrošak energije za pneumatski transport smanjuje za oko 40% u odnosu na klasičan postupak pri istom kapacitetu. U odnosu na klasičan postupak, uključivanjem osmovaljnih stolica u datom mlinu ostvarena je ušteda u jednom pneumatskom ventilatoru i jednom pneumatskom filteru.

Manja sejna površina, u odnosu na sejnu površinu potrebnu u klasičnom postupku, pri istom kapacitetu mlina za rezultat ima manje investicione troškove (potreban manji broj odeljenja planskih sita) pri izgradnji novih mlinskih pogona, odnosno omogućava povećanje kapaciteta postojećih pogona pri datoj sejnoj površini bez dodatnih ulaganja po ovom pitanju. U kojoj meri će se smanjiti potreba za sejnom površinom zavisi od konkretne situacije, a pre svega od kapaciteta mlina i broja prolazišta na kojima će se angažovati osmovaljna stolica. Ovo može varirati od dva odeljenja pa do kompletnih planskih sita.

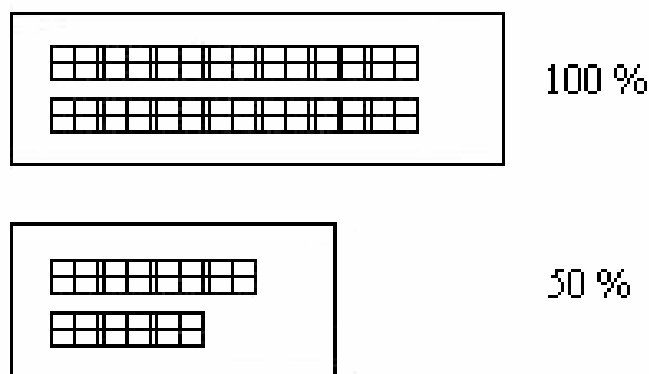
Pored osnovne opreme (planska sita i valjne stolice), postupak uz primenu osmovaljnih stolica, prati i manje angažovanje tzv. pomoćne opreme u mlinu kao što su npr. detašeri i vrgači mekinja. Sveobuhvatno, manji broj pojedinačnih jedinica opreme zahteva manji prostor za njihov smeštaj u objektu u odnosu na prostor potreban za smeštaj opreme u mlinu istog kapaciteta sa klasičnim postupkom. Ovo smanjuje investicione troškove pri izgradnji novih pogona (potreban objekat manje površine) ili omogućava povećanje kapaciteta postojećih pogona bez proširenja objekta.

Baltensperger [4], na primeru već pomenutog mlina kapaciteta 288 t/dan u kome su klasične valjne stolice u potpunosti zamenjene osmovaljnim stolicama, navodi da je na spratu valjaka prostor potreban za smeštaj osmovaljnih stolica za oko 50% manji u odnosu na prostor koji su zauzimale klasične valjne stolice pri istoj ukupnoj valjnoj dužini (sl.14). Ovo istovremeno znači da, zamena klasičnih sa osmovaljnim stolicama u postojećim pogonima, omogućava udvostručavanje ukupne valjne dužine i to bez značajnijih promena u delu pneumatskog transporta i ukupne sejne površine.

Manji prostor i manji broj jedinica opreme, pored investicionih, takođe snižava i troškove održavanja istih, tako da se sa pravom može reći da se, u poređenju sa klasičnim postupkom, smanjuju i operativni troškovi proizvodnje. Kompaktniji objekat istovremeno podrazumeva i manju površinu koju treba obuhvatiti fumigacijom objekta (potrebna manja

količina fumiganata) što je još jedan aspekt racionalizacije u odnosu na klasičan postupak [6].

### Osnova sprata valjaka



**Sl.14 – Poređenje prostora potrebnog za smeštaj klasičnih i osmovaljnih stolica iste ukupne valjne dužine**

## 2.5.2 Efekti usitnjavanja osmovaljnom stolicom

Primeni osmovaljne stolice u industrijskoj praksi izvesno su prethodila obimna ispitivanja efekata njene primene ali se ovi podaci strogo čuvaju u krugovima istraživačkih laboratorija velikih proizvođača mlinske opreme i nisu dostupni javnosti. Činjenica da u postupku sa osmovaljnom stolicom nema međuprosejavanja mliva svakako ostavlja izvesne posledice na efekte usitnjavanja. Do danas, iako osmovaljna stolica već duži niz godina nalazi svoje mesto u savremenom tehnološkom postupku mlevenja, veoma je mali broj publikovanih podataka i naučnih radova koji se bave ovom tematikom i prevashodno se odnose na prva prolazišta krupljenja. Međutim, do sada nema objavljenih rezultata ispitivanja vezanih za primenu osmovaljne stolice u fazi mlevenja griza i osevaka odnosno ispitivanje uticaja parametara usitnjavanja na efekte mlevenja pri primeni osmovaljne stolice u ovoj fazi tehnološkog postupka.

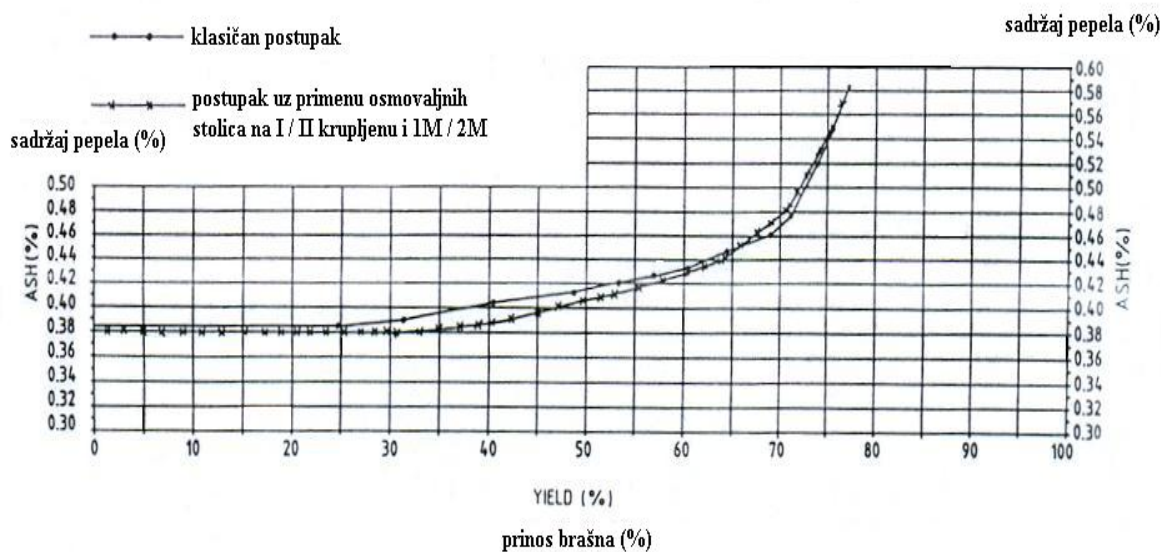
Iskustva koja navodi Tegeler [6], o efektima primene osmovaljne stolice na prvim prolazištima krupljenja, pokazuju da se u odnosu na klasičan postupak, pri istim parametrima usitnjavanja, dobija različita raspodela veličina čestica mliva odnosno različit granulacioni sastav mliva. Slične podatke navodi i Baltensperger uz konstataciju da se pomenuta promena u granulaciji mliva može korigovati odgovarajućim modifikacijama

dijagrama mlevenja tako da ne ostavlja posledice na efekte mlevenja u celini. Nažalost pomenuti autor ne navodi preciznije o kakvim se modifikacijama radi niti da li su i kakve promene potrebne u odnosu na vođenje tehnološkog postupka. Rezultati do kojih su došli Zwingelberg [9], Zwingelberg i Arzt [10], kao i Handreck, Pötschke i Senge [11], ispitujući uticaj različitih parametara usitnjavanja na efekte mlevenja osmovaljnom stolicom na I i II krupljenju, pokazuju da se u odnosu na klasičan postupak ostvaruju različiti efekti usitnjavanja odnosno pokazali su neophodnost optimizacije parametara usitnjavanja u cilju ostvarivanja povoljnih efekata usitnjavanja. Tako Handreck, Pötschke i Senge [11], ispitujući uticaj niza različitih kombinacija parametara usitnjavanja (obimne brzine valjaka, razmak između valjaka, prenosni odnos, specifično opterećenje valjaka) pri primeni osmovaljne stolice na I i II krupljenju, zaključuju da promena u granulacionom sastavu mliva, u odnosu na klasičan postupak, ide u pravcu porasta prinosa sitnijih frakcija izvoda (griz sitnije granulacije, osevci i brašno) pri čemu nisu konstatovali da dolazi do značajnijeg pogoršanja kvaliteta ovih materijala po pitanju sadržaja pepela.

Willm [128], u svojoj studiji dijagrama francuskog mlina za pšenicu, takođe konstatuje da je jedan od efekata primene osmovaljne stolice na I i II krupljenju porast prinosa brašna što je posledica usitnjavanja griza nastalog na I krupljenju. Pomenuti autor konstatuje još jednu posledicu, a ona se ogleda u činjenici da se u klasičnom postupku griz dobijen na I krupaču, nakon čišćenja na čistilici griza ili direktno (u mlinovima koji nemaju uključene čistilice griza u tehnološki postupak), usmerava na usitnjavanje glatkim valjcima na odgovarajuće prolazište u fazi mlevenja griza i osevaka pri čemu se dobijaju pasazna brašna visokog kvaliteta odnosno malog sadržaja pepela. Primenom osmovaljne stolice određeni deo pasaznog brašna koji bi se u klasičnom postupku izdvojio na nekim od prvih prolazišta u fazi mlevenja griza i osevaka, meša se sa pasaznim brašnom I krupljenja koje je slabijeg kvaliteta odnosno ima nešto veći sadržaj pepela. Osim toga, primenom osmovaljne stolice ovaj griz, koji nije prošao postupak čišćenja na čistilici griza, na II krupljenju usitnjava se žlebljenim valjcima što, u zavisnosti od uzajamnog položaja žlebova valjaka, u manjoj ili većoj meri povećava stepen usitnjavanja spoljašnjih slojeva zrna, a time i sadržaj pepela u brašnu.

Wanzenreid [5], poredeći efekte usitnjavanja pšenice bliskih kvalitativnih svojstava u klasičnom postupku i postupku sa primenom osmovaljnih stolica na I i II krupljenju i 1M i 2M, navodi da se sa primenom osmovaljnih stolica dobija brašno nešto sitnije granulacije nego u klasičnom postupku, dok je sadržaj pepela u brašnu u oba postupka sličan i praktično nema značajnije razlike što ilustruju kumulativne krive pepela (sl.15).





**Sl.15 – Kumulativna kriva pepela u klasičnom postupku i postupku sa primenom osmovaljnih stolica na I/II i 1M/2M**

Obe krive (sl.15) počinju pri sadržaju pepela od 0.38 (%)<sub>sm</sub> i gotovo su poravnate do nivoa izbrašnjavanja od 25%. U intervalu izbrašnjavanja 25-60% sadržaj pepela za nijansu je veći u klasičnom postupku, u intervalu 66-73% je za nijansu niži u klasičnom postupku, dok su u intervalu izbrašnjavanja 73-77% dve krive poravnate.

Baltensperger [4], na primeru već pomenutog mlina kapaciteta 288 t/dan u kome su klasične valjne stolice u potpunosti zamenjene osmovaljnim stolicama, poredeći rezultate mlevenja pre i nakon pomenute zamene, takođe navodi veoma bliske kumulativne krive pepela. Obe krive počinju pri sadržaju pepela od 0.39 (%)<sub>sm</sub> i gotovo su poravnate do sadržaja pepela 0.52 (%)<sub>sm</sub> i izbrašnjavanja od 70%. U intervalu izbrašnjavanja 70-78% sadržaj pepela je za nijansu niži u postupku sa primenom osmovaljnih stolica.

Nažalost nijedan od pomenutih autora ne navodi da li su i kakve modifikacije u tehnološkom postupku mlevenja (promena parametara usitnjavanja i prosejavanja mliva) bile potrebne u cilju ostvarivanja efekata mlevenja bliskih onima u klasičnom postupku.

Tegeler [6], takođe upoređujući efekte mlevenja u mlinovima koji su zamenili klasične valjne stolice sa osmovaljnim, navodi da primenu osmovaljne stolice prati brašno sitnije granulacije i svetlije boje, pri čemu je uočeno da su ove razlike znatno izraženije pri preradi pšenice veće tvrdoće. Isti autor, uzima u obzir činjenicu da se, u odsustvu međuprosegavanja mliva, deo brašna nakon prvog prolazišta ponovo usitnjava na drugom prolazištu, i navodi da se granulacija brašna do izvesne mere može kontrolisati odgovarajućim promenama veličine otvora sejnih tkiva na kojima se brašno izdvaja kao

propad. Razloge za nešto svetliju boju brašna u postupku sa primenom osmovaljnih stolica Tegeler nalazi u sitnijoj granulaciji brašna i činjenici da su uslovi usitnjavanja glatkim valjcima u fazi mlevenja griza i osevaka takvi da zbog dvostrukog uzastopnog usitnjavanja u većoj meri dolazi do presovanja mekinjastih čestica koje je zatim lakše prosejavanjem razdvojiti od čestica brašna pretežno poreklom iz endosperma zrna.

Činjenica je da se primenom osmovaljne stolice pogoršavaju uslovi za efikasnost i selektivnost usitnjavanja na donjem paru valjaka, odnosno odgovarajućem prolazištu mlevenja, što potencijalno može imati negativne efekte na prinos, asortiman i kvalitet brašna i iskorišćenje zrna. U kojoj meri će se primena osmovaljne stolice odraziti na efikasnost ili selektivnost usitnjavanja pre svega zavisi od svojstava materijala koji se usitnjava kao i parametara usitnjavanja na datim prolazištima mlevenja.

Danas se u svetu mogu razlikovati dva tipa mlinskih pogona koji primenjuju osmovaljne stolice:

- «hibridni» pogoni koji primenjuju osmovaljne stolice u kombinaciji sa klasičnim duplim valjnim stolicama i
- pogoni kod kojih su na svim prolazištima mlevenja angažovane osmovaljne stolice [129].

Svakako da je odluka da li i na kojim prolazištima mlevenja treba angažovati osmovaljne stolice usko povezana i sa efektima usitnjavanja koji se žele postići odnosno željenom strukturom finalnih proizvoda. Nije moguće u svim situacijama potpuno (a nekad ni parcijalno) zameniti klasične duple valjne stolice sa osmovaljnim [4,7,129]. Tako Krach [123] navodi da ako je primarni finalni proizvod griz (primeri su mlevenje durum pšenice i kukuruza), ili je u strukturi finalnih proizvoda dosta zastupljen griz (krupica) ili se primarno zahteva brašno sa malim sadržajem pepela, treba predvideti «hibridna» rešenja ili konvencionalne dijagrame mlevenja.

Ipak izvesne promene po ovom pitanju se dešavaju i to u svetlu razvoja tehnologije proizvodnje testenina preciznije tehnologije ekstrudiranja. Kompanija Bühler razvila je tehnologiju za proizvodnju testenina, uz primenu prese «POLIMATIK» (sa novim konceptom zamesa testa), gde se zahteva da granulacija čestica griza bude <250 µm što je značajna razlika u odnosu na klasičan tehnološki postupak proizvodnje testenina. Ovakvi zahtevi po pitanju krupnoće čestica otvaraju prostor za primenu osmovaljnih stolica i u mlinovima za durum pšenicu [130].

U zavisnosti od broja prolazišta mlevenja koji se objedinjuju primenom osmovaljnih stolica, smanjuje se broj pasožnih brašna u odnosu na klasičan postupak, i u

određenoj meri sužava mogućnost formiranja namenskih brašna specifičnih kvalitativnih svojstava. Tegeler [6] navodi da se pomenuti problem može delimično rešiti određenim modifikacijama dijagrama mlevenja ali ne navodi preciznije podatke. Sa druge strane ako je osnovni cilj proizvodnje jednotipsko brašno primena osmovaljnih stolica ne ostavlja značajnije posledice po kvalitet i prinos brašna [4].

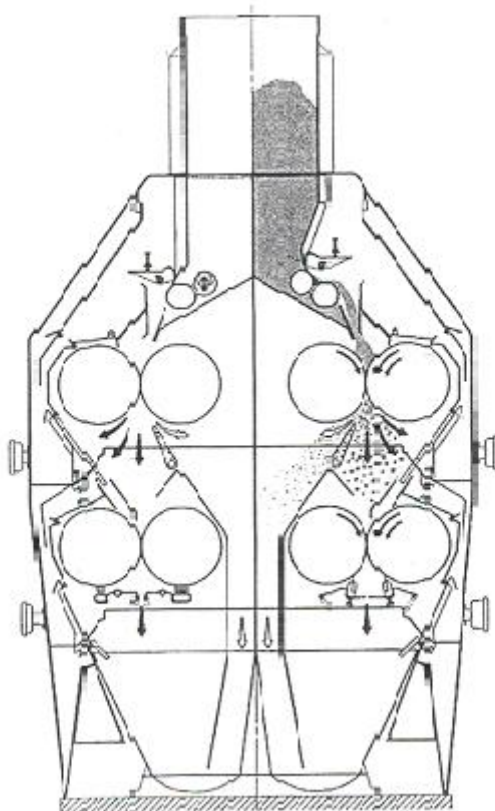
Rezultati dosadašnjih ispitivanja uticaja različitih parametara prerade na efekte mlevenja osmovaljnom stolicom, koji se mahom odnose na prva prolazišta krupljenja, pokazali su da postoje određene razlike u odnosu na efekte usitnjavanja u klasičnom postupku. Ipak ova saznanja ne mogu se neposredno primeniti na usitnjavanje osmovaljnom stolicom u fazi mlevenja griza i osevaka zbog suštinske razlike u granulaciji i svojstvima čestica koje dolaze na usitnjavanje na različita prolazišta mlevenja, karakteristikama radne površine valjaka koji se koriste u fazi krupljenja (žlebljeni valjci) i fazi mlevenja griza i osevaka (glatki valjci), a time i različitih geometrijskih parametara usitnjavanja, kao i različitih kinematičkih i tehnoloških parametara usitnjavanja u ove dve faze tehnološkog postupka mlevenja pšenice.

Sve prethodno navedeno ukazuje na potrebu ispitivanja efekata mlevenja griza i osevaka osmovaljnom stolicom odnosno neophodnost optimizacije određenih parametara prerade.

### **2.5.3 Alternativna rešenja u konstrukciji osmovaljne stolice**

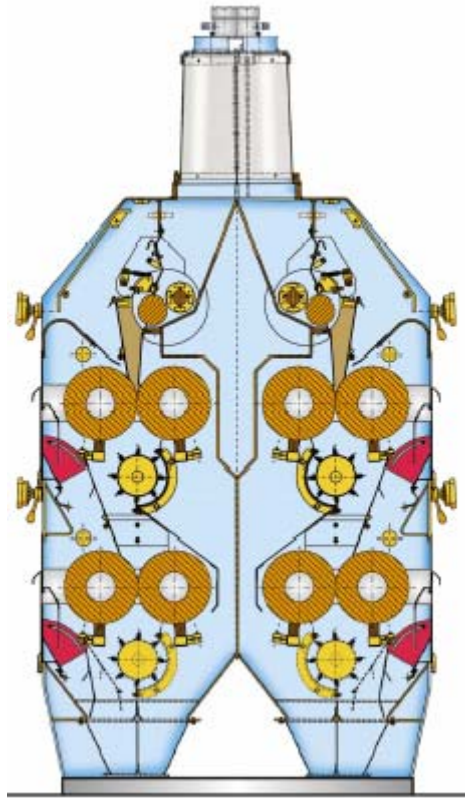
Kao što je već istaknuto, kod osmovaljne stolice se celokupan materijal sa prvog prolazišta mlevenja (gornji par valjaka), bez prosejavanja i izdvajanja izvoda upućuje na sledeće prolazište (donji par valjaka) usled čega se pogoršavaju uslovi za efikasnost i selektivnost usitnjavanja.

Postoje dve osnovne ideje za ublažavanje nedostataka koji se javljaju pri upotrebi osmovaljne stolice. Prvo rešenje je adaptacija jedne stare ideje [131] tzv. „Alphega“ sistem (sl.16). Kod „Alphega“ sistema koristi se činjenica da dolazi do raslojavanja mliva nakon prolaska kroz mlevni prostor gornjeg para valjaka. Teže i krupnije čestice bivaju jače odbačene i padaju na donji par valjaka, dok se lakše i sitnije usmeravaju tako da zaobiđu donji par valjaka [8].



**Sl.16 – Poprečni presek osmovaljne stolice sa sistemom „Alphega“**

Kod drugog rešenja, koje je predložila firma Ocrim (sl.17), ispod gornjeg i donjeg para valjaka smešteno je cilindrično sito. Materijal se nakon gornjeg para valjaka prosejava na cilindričnom situ, prelaz se usmerava na donji par valjaka, a propad ga zaobilazi. Propad sa gornjeg cilindričnog sita može se voditi zasebno ili zajedno sa propadom sa donjeg cilindričnog sita u zavisnosti od konkretne situacije [8]. U kojoj meri se ovim rešenjem mogu eliminisati negativni efekti primene osmovaljne stolice zavisi od prolazišta usitnjavanja odnosno karakteristika mliva i čestica koje treba pomenutim sitom izdvojiti i masenim protokom mliva koje napušta mlevni prostor valjaka što zavisi od specifičnog opterećenja valjaka. Po tvrdnjama samog proizvođača prednosti ovakvog rešenja su smanjenje potrebne sejne površine za oko 30%, veći kapacitet odnosno veće specifično opterećenje valjaka pogotovo na I i II krupljenju, duži radni vek valjaka, manji utrošak energije za usitnjavanje i bolji kvalitet finalnih i međuproizvoda mlevenja [7]. Ipak, treba naglasiti da su literaturni podaci, o efektima primene ovakvog rešenja u praksi, vrlo oskudni.



**Sl. 17 - Poprečni presek osmovaljne stolice proizvođača opreme „Ocrim Spa“**

Prethodno pomenutim rešenjima, u izvesnoj meri, eliminišu se negativni efekti upotrebe osmovaljne stolice, ali se sa obzirom na njene brojne prednosti može očekivati dalja ekspanzija primene osmovaljne stolice u savremenim mlinskim pogonima.

## **3.0 EKSPERIMENTALNI DEO**

### **3.1 CILJ RADA**

Cilj rada je uporedna analiza efekata mlevenja griza i osevaka u klasičnom i postupku sa osmovaljnom stolicom, u širokom intervalu razmaka između valjaka i uslova prosejavanja mliva sa aspekta veličine otvora sejnih tkiva, kao operativnih parametara prerade u pogonskim uslovima. Efekti mlevenja (usitnjavanja) u ispitivanim postupcima utvrđeni su praćenjem kvantitativnih, kvalitativnih i energetskih pokazatelja efektivnosti usitnjavanja. Dobijeni rezultati omogućiće definisanje parametara pri kojima se u postupku sa osmovaljnom stolicom mogu ostvariti isti ili vrlo bliski efekti mlevenja kao u klasičnom postupku. Na ovaj način optimiziraće se tehnološki postupak mlevenja griza i osevaka.

### **3.2 MESTO RADA**

Eksperimentalna ispitivanja realizovana su u laboratorijama Tehnološkog fakulteta, Univerziteta u Novom Sadu.

### **3.3 ORGANIZACIJA EKSPERIMENTALNOG RADA**

Istraživanje je realizovano kroz pet etapa koje su vezane za različite uzorke odnosno različita prolazišta mlevenja u fazi mlevenja griza i osevaka. Za eksperimentalna ispitivanja korišćeni su uzorci uzeti iz dva industrijska mlina (u daljem tekstu mlin A i B) sa različitim prolazišta u okviru faze mlevenja griza i osevaka u skladu sa planom eksperimentalnog rada. Pomenuti uzorci, griz i osevci različite krupnoće i stepena čistoće, predstavljaju međuproizvode u tehnološkom postupku mlevenja pšenice.

Za svaku od etapa istraživanja (u daljem tekstu etapa) definisani su interval variranja razmaka između valjaka, specifično opterećenje valjaka i veličina otvora sejnih tkiva u slogu sita koji su u skladu sa postojećim iskustvima u industrijskoj i istraživačkoj praksi. U svakoj od etapa paralelno su utvrđivani kvantitativni, kvalitativni i energetski pokazatelji efektivnosti usitnjavanja u klasičnom i postupku sa osmovaljnom stolicom.

Prva etapa obuhvatila je ispitivanja na uzorku krupnog griza (950/710  $\mu\text{m}$ ) nakon čišćenja na čistilici griza. Pomenuti međuproizvod se u tehnološkom postupku mlevenja pšenice usmerava na rastvaranje griza.

Druga etapa takođe je obuhvatila ispitivanja na uzorku krupnog griza (950/710  $\mu\text{m}$ ) nakon čišćenja na čistilici griza sa tim da je u ovoj etapi, pored variranja razmaka između valjaka, ispitivan i uticaj promene uslova prosejavanja mliva pri čemu je navedena promena usklađena sa rezultatima prve etape.

Obzirom da ne mali broj pogona u svom tehnološkom postupku nema uključene čistilice griza, treća etapa obuhvatila je ispitivanja na uzorku krupnog griza (1000/530  $\mu\text{m}$ ) uzetog direktno nakon prosejavanja na planskom situ koji se, u odsustvu čistilica griza, takođe usmerava na rastvaranje griza, ali se po svojim svojstvima (veći udeo čestica spoljašnjih slojeva zrna) ne malo razlikuje od uzorka griza očišćenog na čistilici (uglavnom prisutne čestice poreklom iz endosperma zrna).

Četvrta etapa obuhvata ispitivanja na uzorku griza srednje i sitne granulacije koji se, u uobičajenom tehnološkom postupku mlevenja pšenice, upućuje na neka od prolazišta iz središnjeg dela faze mlevenja griza i osevaka.

Peta etapa obuhvatila je ispitivanja na uzorku koji se, u uobičajenom tehnološkom postupku mlevenja pšenice, upućuje na poslednja prolazišta mlevenja griza i osevaka.

Ovakva organizacija etapa uslovljena je činjenicom da efektivnost usitnjavanja, sem od parametara usitnjavanja, značajno zavisi i od strukturno-mehaničkih svojstava materijala koji se usitnjava, a koja se menjaju u zavisnosti od sadržaja vode u uzorku. Da bi se, koliko je moguće, izbegla promena ovih svojstava, do koje može doći usled isušivanja uzorka, planirana je navedena organizacija etapa koja podrazumeva sukcesivno uzimanje uzoraka pri čemu je svako naredno uzimanje uzorka realizovano tek po okončanju eksperimentalnog rada sa prethodnim uzorkom.

### **3.4 KRATAK PRIKAZ TEHNOLOŠKOG POSTUPKA U KORIŠĆENIM INDUSTRIJSKIM MLINOVIMA**

#### **3.4.1 Mlin A (250 t/dan)**

*Odelenje pripreme pšenice za mlevenje.* Priprema pšenice za mlevenje obavlja se uz primenu savremene opreme i u skladu sa uobičajenim dijagramom za ovu fazu

tehnološkog postupka mlevenja pšenice. Prvi korak obuhvata izdvajanje primesa pri čemu se koristi oprema za crno čišćenje pšenice: mlinski aspirator, magnetni separator i suvi odvajач kamena, sa tim da je izostala separacija primesa na trijeru.

Zatim je primenjen postupak dvostepenog osnovnog vlaženja i odležavanja pšenice. U prvom stepenu pšenica se automatskom intenzivnom kvasilicom vlaži do sadržaja vode od 15% i odležava 12 sati u komorama za I odležavanje. U drugom stepenu pšenica se vlaži do sadržaja vode od 16,3%, navlažena zrnena masa homogenizuje i odležava 2,5 sata u komorama predviđenim za II odležavanje navlažene pšenice. Nakon odležavanja pšenica se usmerava na belo čišćenje gde se obrađuje na horizontalnoj suvoj ribalici. Po izlasku iz ribalice pšenica se upućuje u aspiracionu komoru u kojoj se zrnena masa intenzivno provetrava vazdušnom strujom kako bi se što potpunije uklonili zaostali delići omotača zrna i prašina prevashodno organskog porekla. Pomenute primese, kao i sitna i lomljena zrna, dodatno se izdvajaju na pneumatskom separatoru, intenzivnim provetranjem zrnene mase. Nakon pneumatskog separatora pšenica se usmerava na zamagljivač u kome se zrnenom masi dodaje oko 0,5% vode u raspršenom obliku. Ovako navlažena zrnena masa se homogenizuje i odležava 20 – 30 minuta u komori iznad I krupača, posle čega se upućuje u odelenje mlevenja pšenice odnosno na I krupljenje.

*Odelenje mlevenja pšenice.* Faza krupljenja ima pet prolazišta mlevenja, I i II krupljenje je jednostepeno, dok su III i IV krupljenje udvojeni odnosno imaju „krupnu“ i „sitnu“ stranu. V krupljenje ima samo „sitnu“ stranu. Zatim sledi jedno prolazište mlevenja okrajaka (MO), tri prolazišta rastvaranja griza (1R – 3R) i devet prolazišta mlevenja griza i osevaka (1M - 9M). Prosejavanje mliva obavlja se na šest visokoučinskih šestodelnih planskih sita sa uložnim ramama, dok je za čišćenje griza angažovano osam duplih čistilica griza (ČG) sa tri nivoa sita i vibropogonom (tab.4).

### **3.4.2 Mlin B (120 t/dan)**

*Odelenje pripreme pšenice za mlevenje.* Priprema pšenice za mlevenje obavlja se korišćenjem standardne opreme određenim redosledom operacija uobičajenim za ovu fazu tehnološkog postupka. Za separaciju primesa koristi se oprema za crno čišćenje pšenice: cevni magnet, mlinski aspirator, suvi odvajач kamena, cilindrični trijer, spiralni trijer i vetreni orman-pneumoseparator.

Zatim sledi jednostepeno osnovno vlaženje i odležavanje pšenice. Pšenica se sa automatskom kvasilicom vlaži do sadržaja vode od 15,7%. Nakon vlaženja i



homogenizacije navlaženog zrna pšenica odležava 15 sati u komorama za odležavanje. Odležana pšenica se usmerava na belo čišćenje gde se obrađuje na suvoj horizontalnoj ribalici namenjenoj za površinsku obradu zrna. Po izlasku iz ribalice pšenica se usmerava u aspiracionu komoru. Sitna i lomljena zrna, delići omotača zrna i prašina se dodatno izdvajaju na pneumatskom separatoru intenzivnim provetravanjem nakon čega zrnena masa prolazi kroz cevni magnet (izdvajanje metalnih nečistoća). Posle pneumoseparatora pšenica se usmerava na zamagljivač, gde se dodaje još oko 0,5 % vode u raspršenom obliku. Navlažena zrnena masa se homogenizuje i upućuje na odležavanje u komoru iznad I krupača u trajanju od oko 20 minuta, nakon čega se odvodi na I krupljenje.

*Odeljenje mlevenja pšenice.* Krupljenje pšenice se obavlja na pet prolazišta pri čemu je na I, II, III i IV krupljenju angažovana po jedna dupla valjna stolica (dva para valjaka), a na V krupljenju jedan par valjaka (polovina duple valjne stolice). U ovom mlinu nema udvojenih prolazišta krupljenja sa zasebnom „krupnom“ i „sitnom“ stranom. Zatim sledi jedno prolazište MO, četiri prolazišta rastvaranja griza (1R - 4R) i šest prolazišta mlevenja griza i osevaka (1M – 6M). Prosejavanje mliva odvija se na dva visokoučinska osmodelna planska sita sa uložnim ramama, dok su za čišćenje griza angažovane četiri duple ČG sa dva nivoa sita i oscilatornim pogonom (tab.5).

**Tab. 4 - Valjna dužina i broj odeljenja planskih sita angažovanih po prolazištima mlevenja u mlinu A**

prolazište mlevenja	I	II	III <sub>K</sub>	III <sub>S</sub>	IV <sub>K</sub>	IV <sub>S</sub>	V
valjna dužina [mm]	2x800 2x1000	4x1000	2x1000	2x1000	2x1000	1x1000	1x1000
broj odeljenja	4/6*	4/6	2/6	2/6	2/6	1/6	1/6
prolazište mlevenja	MO	1R	2R	3R	1M	2M	3M
valjna dužina [mm]	1x1000	3x1000	2x1000	2x1000	2x1000	2x1000	2x1000
broj odeljenja	1/6	3/6	2/6	2/6	2/6	2/6	2/6
prolazište mlevenja	4M	5M	6M	7M	8M	9M	-
valjna dužina [mm]	1x1000	1x1000	1x1000	1x1000	1x1000	1x1000	-
broj odeljenja	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6	-

Prečnik valjaka na svim prolazištima mlevenja je 250 [mm]

\*Brojilac pokazuje broj odeljenja planskog sita, a imenilac da se radi o šestodelnim planskim sitima

**Tab. 5 - Valjna dužina i broj odeljenja planskih sita angažovanih po prolazištima mlevenja u mlinu B**

prolazište mlevenja	I	II	III	IV	V	MO	1R	2R
valjna dužina [mm]	2x1000	2x1000	2x1000	2x1000	1x1000	1x1000	1x1000	1x1000
broj odeljenja	2/8	2/8	2/8	1/8	1/16	1/16	1/8	1/8
prolazište mlevenja	3R	4R	1M	2M	3M	4M	5M	6M
valjna dužina [mm]	1x1000	1x1000	1x1000	1x1000	1x1000	1x1000	1x1000	1x1000
broj odeljenja	1/16	1/16	1/8	1/8	1/16	1/16	1/16	1/16

Po polovina jednog odeljenja osmodelnog planskog sita (1/16) koristi se za razvrstavanje osevaka na 1RO i 2RO. Prečnik valjaka na svim prolazištima mlevenja je 250 [mm]

Obzirom da uzorci za ispitivanje, uzeti iz pomenutih industrijskih mlinova, predstavljaju međuproizvode u tehnološkom postupku mlevenja pšenice, prilikom opisa materijala za ispitivanje daće se detaljniji podaci pojedinih segmenata tehnološkog postupka koji su bitni za bliže definisanje uzoraka.

### 3.5 MATERIJAL ZA ISPITIVANJE

U prvoj i drugoj etapi, kao polazni uzorak korišćen je griz dobijen čišćenjem frakcije krupnog griza sa II krupljenja na 9 ČG u industrijskom mlinu A. Uzorak predstavlja propad kroz sejna tkiva sa veličinom otvora od 950  $\mu\text{m}$  (22 GG) i 850  $\mu\text{m}$  (24 GG) i u datom mlinu usmerava se na 1R. Parametri tehnološkog postupka koji imaju uticaja na karakteristike ovog uzorka su: postupak pripreme pšenice za mlevenje (prethodno već opisan u radu), parametri usitnjavanja na I i II krupljenju (tab.6) i šeme prosejavanja mliva na I i II krupljenju i čišćenja krupnog griza od II krupljenja (sl.18). Dalji tok tehnološkog postupka mlevenja u ovom mlinu neće biti razmatran sa obzirom da nema uticaja na svojstva pomenutih uzoraka.

U mlinu A, na odelenjima planskog sita od I krupljenja dobijaju se sledeće frakcije mliva:

- prelaz krupljavine ( $>1000 \mu\text{m}$ ) - usmerava se na II,
- krupni griz ( $1000/530 \mu\text{m}$ ) – usmerava se na 5ČG,
- pasažno brašno ( $<180 \mu\text{m}$ ) – izvodi se iz tehnološkog postupka,
- srednji i sitni griz ( $530/315 \mu\text{m}$ )– usmerava se na 4ČG i
- osevci ( $315/180 \mu\text{m}$ )– usmeravaju se na 3R.

**Tab. 6 – Parametri usitnjavanja pri I i II krupljenju u mlinu A**

prolazište krupljenja	prečnik valjaka [mm]	valjna dužina [mm]	broj žljebova po cm obima valjka [ $\text{cm}^{-1}$ ]	nagib žljebova (%)
I	250	2x800	3,5	6
		2x1000		
II	250	4x1000	5,0	6
prolazište krupljenja	uglovi žljebova $\alpha/\beta$ u °	uzajamni položaj žljebova valjaka	obimna brzina brzohodnog valjka [m/s]	prenosni odnos
I	40/70	L/L	6	2,5
II	40/70	L/L	6	2,5

U mlinu A na odeljenjima planskog sita od II krupljenja dobijaju se sledeće frakcije mliva:

- krupni prelaz krupljavine ( $>1320 \mu\text{m}$ ) – usmerava se na III<sub>K</sub>,
- sitni prelaz krupljavine ( $1320/1180 \mu\text{m}$ ) – usmerava se na III<sub>S</sub>,
- krupni griz ( $1180/500 \mu\text{m}$ ) – usmerava se na 9ČG,
- pasažno brašno ( $<180 \mu\text{m}$ ) – izvodi se iz tehnološkog postupka,
- srednji i sitni griz ( $500/315 \mu\text{m}$ ) – usmerava se na 10ČG i
- osevci ( $315/180 \mu\text{m}$ ) – usmeravaju se na 3R.

Sa 9ČG prelazi sa gornjeg i srednjeg nivoa sita (okrajci) usmeravaju se na III<sub>S</sub>, prelaz sa donjeg nivoa sita usmerava se na 2R, dok se propadi sa pojedinih sejnih rama (griz) mogu usmeravati na 1R ili se izvode iz tehnološkog postupka kao finalni proizvod -griz (sl.18).

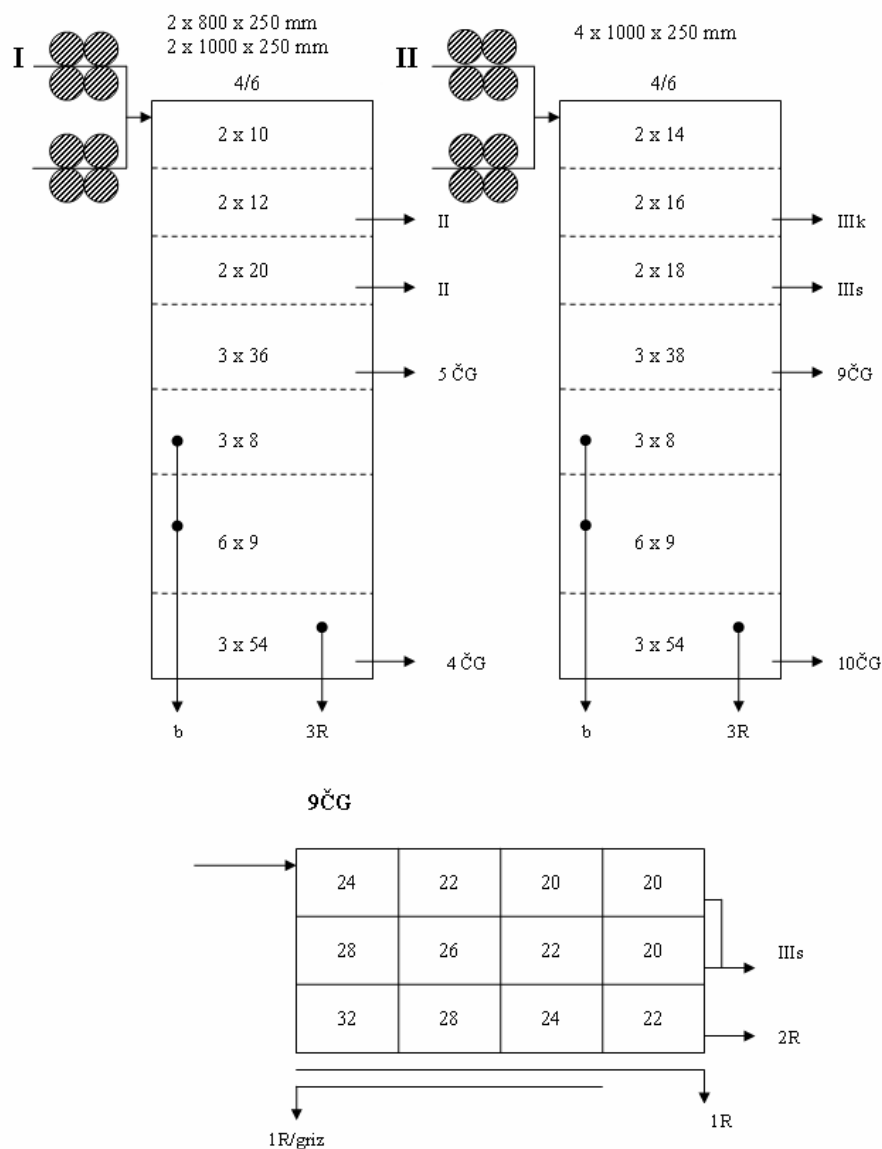
Uzimajući u obzir prethodno opisanu organizaciju eksperimentalnog rada koja podrazumeva da se svako naredno uzimanje uzoraka realizuje tek po okončanju eksperimentalnog rada sa prethodnim uzorkom, uzorci za prve dve etape iako uzeti sa istog

mesta u tehnološkom postupku mlevenja u mlinu A, predstavljaju različite uzorke (u daljem tekstu A1-za prvu etapu i A2-za drugu etapu).

Karakteristike Nyltal-ovih sintetičkih sejnih tkiva (tab.7) koja se koriste u segmentima dijagrama mlevenja pšenice u mlinu A (sl.18) odnosno u mlinu B (sl.19, sl.20 i sl.21).

**Tab. 7 – Karakteristike Nyltalovih sintetičkih sejnih tkiva**

oznaka sejnog tkiva	veličina otvora [ $\mu\text{m}$ ]	broj otvora po metru dužine sejnog tkiva [ $\text{m}^{-1}$ ]	svetli otvor (%)
10 GG	2000	360	53
12 GG	1800	440	61
14 GG	1600	500	60
16 GG	1320	580	59
18 GG	1180	650	59
20 GG	1000	750	57
22 GG	950	800	57
24 GG	850	870	53
26 GG	800	940	53
28 GG	710	1050	53
30 GG	670	1080	53
32 GG	600	1190	51
34 GG	560	1230	49
36 GG	530	1330	50
38 GG	500	1370	47
40 GG	475	1500	48
42 GG	450	1540	48
44 GG	425	1600	46
45 GG	400	1680	47
46 GG	375	1750	47
54 GG	315	2100	44
58 GG	300	2170	45
66 GG	250	2650	46
70 GG	236	2800	44
7 XXX	200	3000	39
8 XXX	180	3600	39
9 XXX	150	4100	38
10 XXX	132	4500	40

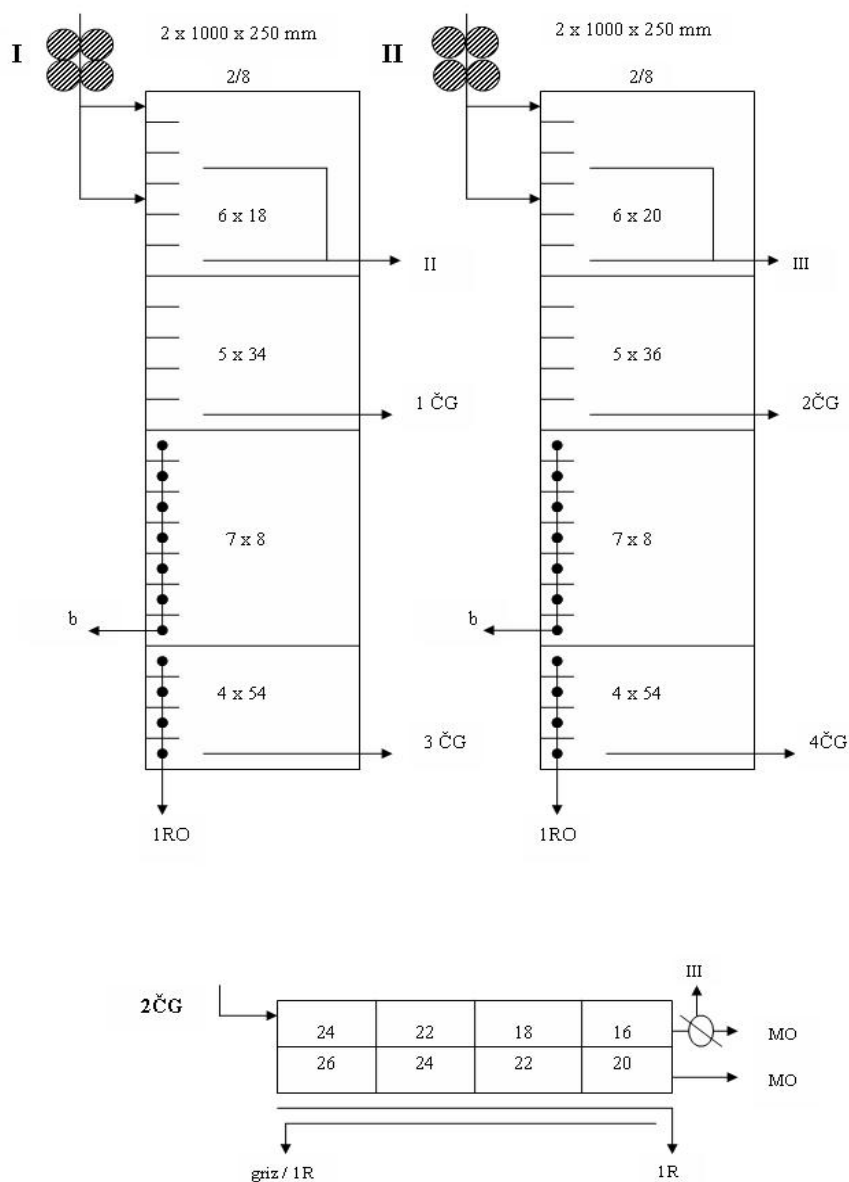


**Sl. 18 – Segment dijagrama mlevenja pšenice za prolazišta I i II krupljenja i čišćenje krupnog griza od II krupljenja u mlinu A**

Za treću, četvrtu i petu etapu uzorci su uzeti iz mlina B. U trećoj etapi, kao polazni uzorak (u nastavku teksta B3) korišćen je krupni griz sa II krupljenja krupnoće 1000/530  $\mu\text{m}$ . Ova frakcija mliva se u mlinu B usmerava na 2ČG. Uzorak je uzet neposredno pre ulaska u čistilicu griza. Parametri tehnološkog postupka koji imaju uticaja na svojstva ovog uzorka su: postupak pripreme pšenice za mlevenje (prethodno već opisan u radu), parametri valjaka na I i II krupljenju (tab.8) i šeme prosejavanja mliva na I i II krupljenju i čišćenja krupnog griza od II krupljenja (sl.19).

Tab. 8 – Parametri usitnjavanja pri I i II krupljenju u industrijskom mlinu B

prolazište krupljenja	prečnik valjaka [mm]	valjna dužina [mm]	obimna brzina brzohodnog valjka [m/s]	prenosni odnos
I	250	2x1000	6,5	2,5
II	250	2x1000	6,5	2,5



Sl. 19 – Segment dijagrama mlevenja pšenice za prolazišta I i II krupljenja i čišćenje krupnog griza od II krupljenja u mlinu B

U mlinu B, na odelenjima planskog sita od I krupljenja, dobijaju se sledeće frakcije mliva:

- prelaz krupljivine ( $>1180 \mu\text{m}$ ) - usmerava se na II,
- krupni griz ( $1180/560 \mu\text{m}$ ) – usmerava se na 1ČG,
- pasažno brašno ( $<180 \mu\text{m}$ ) – izvodi se iz tehnološkog postupka,
- srednji i sitni griz ( $560/315 \mu\text{m}$ ) – usmerava se na 3ČG i
- osevci ( $315/180 \mu\text{m}$ ) – usmeravaju se na 1RO.

Na odelenjima planskog sita od II krupljenja, u mlinu B, dobijaju se sledeće frakcije mliva:

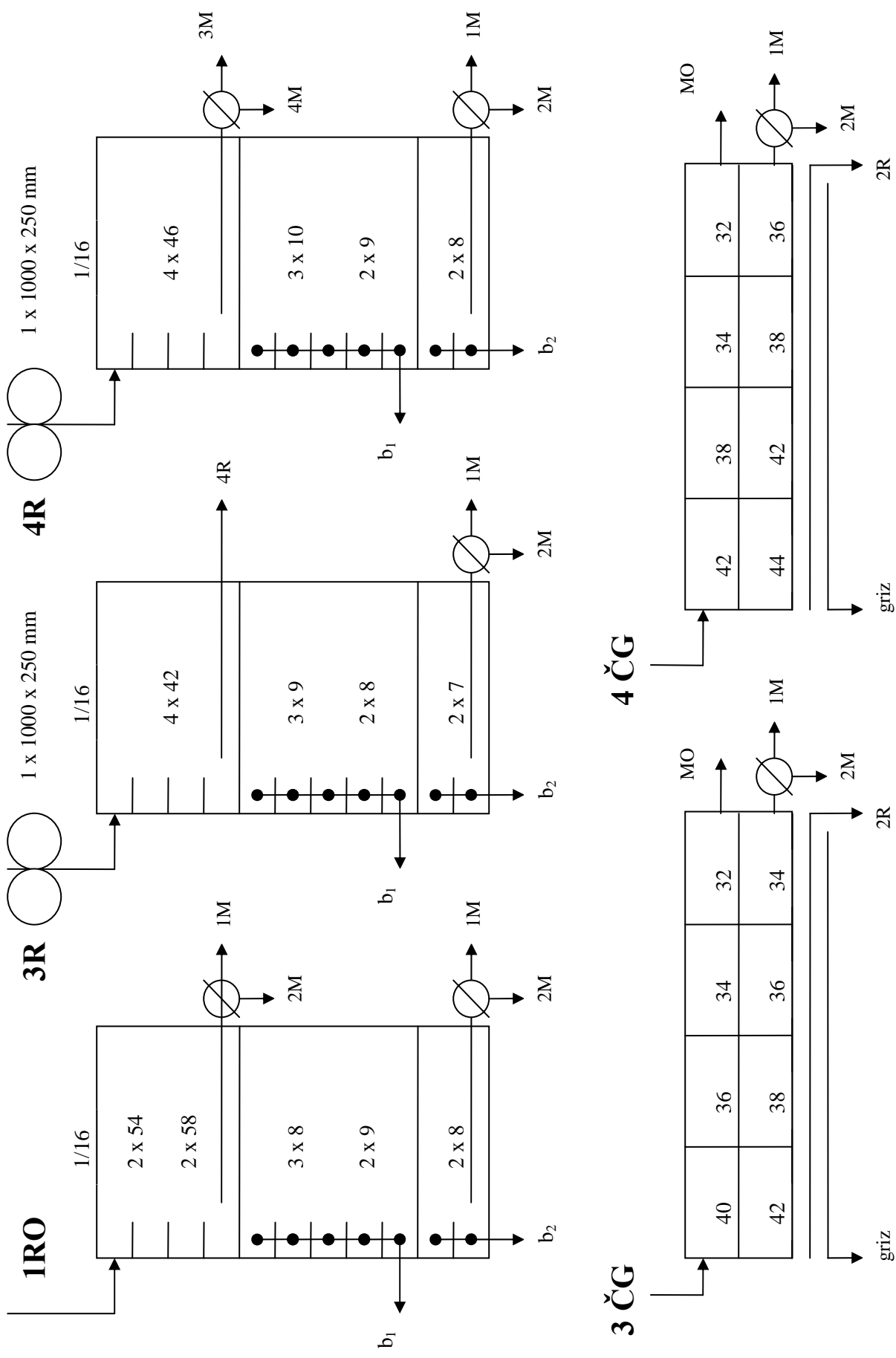
- prelaz krupljivine ( $>1000 \mu\text{m}$ ) – usmerava se na III,
- krupni griz ( $1000/530 \mu\text{m}$ ) – usmerava se na 2ČG,
- pasažno brašno ( $<180 \mu\text{m}$ ) – izvodi se iz tehnološkog postupka,
- srednji i sitni griz ( $530/315 \mu\text{m}$ ) – usmerava se na 4ČG i
- osevci ( $315/180 \mu\text{m}$ ) – usmeravaju se na 1RO.

Sa 2ČG prelaz (okrajci) sa gornjeg nivoa sita može se alternativno usmeravati na MO ili na III krupljenje, dok se prelaz sa donjeg nivoa sita usmerava samo na MO. Propadi sa pojedinih sejnih rama 2ČG mogu se usmeravati na 1R ili se izvode iz tehnološkog postupka kao finalni proizvod-griz (sl.19).

U četvrtoj etapi kao polazni uzorak (u nastavku teksta B4) korišćen je griz koji se u mlinu B usmerava na 1M. Uzorak je uzet direktno sa hranilice valjaka na strani duple valjne stolice koja je angažovana za 1M. U mlinu B, na 1M mogu se usmeravati međuproizvodi mlevenja sa:

- odelenja planskog sita za 1RO – gornji ( $>300\mu\text{m}$ ) i donji prelaz ( $300/180 \mu\text{m}$ ),
- 3ČG – prelaz sa donjeg nivoa sita ( $>560 \mu\text{m}$ ),
- 4ČG – prelaz sa donjeg nivoa sita ( $>530 \mu\text{m}$ ),
- 3R – donji prelaz ( $450/200 \mu\text{m}$ ) i
- 4R – donji prelaz ( $375/180 \mu\text{m}$ ) (sl.20).

Prethodno pomenuti međuproizvodi mlevenja mogu se usmeravati na 1M ili 2M.



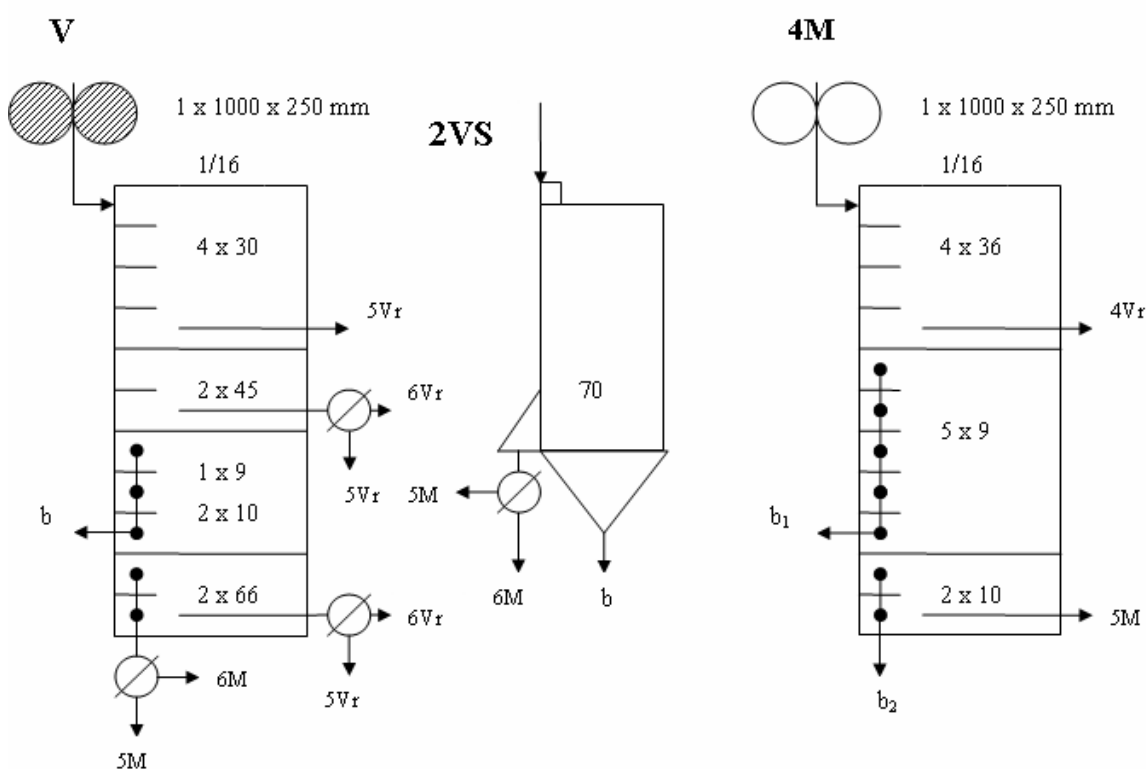
SI.20 - Segmenti dijagrama mlevenja pšenice u mlinu B sa kojih se odgovarajuće frakcije mliva usmeravaju na 1M ili 2M



U petoj etapi kao polazni uzorak (u nastavku teksta B5) korišćeni su osevci koji se u mlinu B usmeravaju na 5M. Uzorak je uzet iz protočnog voda iznad sprata valjaka. U mlinu B, na 5M mogu se usmeravati odgovarajuće međuproizvodi mlevenja sa:

- V krupljenja – osevci (250/150  $\mu\text{m}$ ),
- drugog vibro sita (2VS) – prelaz (>236  $\mu\text{m}$ ) i
- 4M - donji prelaz (530/132  $\mu\text{m}$ ) (sl.21).

Osevci sa V krupača i prelaz sa 2VS mogu se, u zavisnosti od kvaliteta, usmeravati na 5M ili 6M.



**Sl.21 - Segmenti dijagrama mlevenja pšenice u mlinu B sa kojih se odgovarajuće frakcije mliva usmeravaju na 5M ili 6M**

Da bi se postigla reprezentativnost uzoraka, ukupna masa uzorka za svaku etapu iznosila je oko 50 kg. Uzorci su uprosečeni i redukovani pomoću automatskog delioca (Gompper-Maschinen KG) (sl.22) do uzoraka za sama ispitivanja (usitnjavanje) mase 1 [kg] za prve tri i 0.5 [kg] za četvrtu i petu etapu. Razlika u masi pojedinačnih uzoraka uslovljena je odgovarajućim specifičnim opterećenjem valjaka koje treba postići u pojedinim etapama odnosno odgovarajućim prolazištima mlevenja i vremenom

usitnjavanja koje se kretalo između 15 i 23 sekunde. Uzorci su čuvani u plastičnim kesama da bi se očuvala vlaga i obezbedila konstantna strukturno-mehanička svojstva.



**Sl. 22 – Automatski delilac uzoraka Gompper – Maschinen KG**

## **3.6 TEHNIKA**

### **3.6.1 Laboratorijska valjna stolica - Variostuhl**

Laboratorijska valjna stolica Variostuhl, model C Ex 2 (Miag, Braunschweig, Nemačka), kao poluindustrijski laboratorijski uređaj, omogućava relativno laku promenu parametara usitnjavanja u širokom radnom opsegu i pouzdano oponašanje pogonskih uslova rada ili uslova veoma bliskih njima. Time se stvara pretpostavka za prenošenje stečenih saznanja u industrijske mlinove. Najveći deo uređaja predstavlja pogonski deo, koga čini prenosni mehanizam sa motorom i ležajevima, koji je smešten u metalnom kućištu. Na spoljnoj prednjoj strani kućišta nalaze se tasteri za pokretanje i zaustavljanje valjaka za usitnjavanje i valjka hranilice, tahometri za kontrolu broja obrtaja valjaka za usitnjavanje i valjka hranilice i poluge za biranje opsega prenosnog odnosa, biranje opsega obimnih brzina i podešavanje paralelnosti valjaka za usitnjavanje. Na zadnjoj strani kućišta

smešteni su točak za podešavanje i instrument sa kružnom skalom za očitavanje razmaka između valjaka (sl.23a).



a.)



b.)

**Sl. 23 – Laboratorijska valjna stolica – Variostuhl**

Na bočnoj levoj strani uređaja smešteni su sistem za hranjenje mlinskih valjaka i par valjaka za mlevenje ispod kojih se nalaze četke za čišćenje površine valjaka od mliva. Ceo sistem za hranjenje i mlevenje zatvoren je kućištem (poklopcem) od pleksiglasa koji obezbeđuje zaptivenost radnog prostora i sprečava rasipanje mliva koje se prikuplja u metalnoj posudi, a ujedno omogućava vizuelnu kontrolu (praćenje) postupka mlevenja. Prostor za metalnu posudu nalazi se u niši postolja uređaja neposredno ispod prostora ograničenog providnim pleksiglasom (sl.23a). Nasuprot opisanom radnom prostoru, sa bočne desne strane nalazi se sistem poluga za ručno podešavanje kinematičkih parametara valjaka za mlevenje i valjka hranilice (sl.23b).

Osnovni radni element predstavlja par vodoravno postavljenih valjaka (postavljenih na dva nosača), prečnika 250 mm i valjne dužine 100 mm. Mogućnost zamene valjaka omogućava rad na valjcima različitih geometrijskih parametara (rad sa različitim

žlebljenim i glatkim valjcima). Zbog simetrične konstrukcije, valjci se mogu postaviti na nosač valjaka sa obe strane, što pri radu sa žlebljenim valjcima omogućava sva četiri uzajamna položaja žlebova valjaka (L/L, O/O, O/L, L/O). Levi nosač valjaka je pokretan (desni je nepomičan) i može bočno da se pomera u određenom rasponu čime je omogućeno podešavanje (promena) razmaka između valjaka. Iako uređaj poseduje kružnu skalu za očitavanje razmaka između valjaka, podešavanje i kontrola pomenutog parametra praktično je znatno pouzdanija pomoću lisnatog merila

Valjci za mlevenje imaju sopstveni pogonski elektromotor snage 2,6 kW. Variostuhl ima dva radna opsega obimnih brzina valjaka – opseg manjih (I) i većih (II) obimnih brzina. Broj obrtaja valjaka može se menjati u veoma širokom radnom opsegu od 200-1400 o/min što pri datom prečniku valjaka odgovara rasponu obimnih brzina od 2,6-18 [m/s]. Obimne brzine valjaka podešavaju se preko odgovarajuće ručne poluge u toku rada i očitavaju na odgovarajućim tahometrima. Povećanjem obimne brzine brzohodnog valjka povećava se i obimna brzina sporohodnog valjka u skladu sa odabranim prenosnim odnosom.

Uređaj ima dva stepena prenosa (I i II) koji se odabira pomeranjem ručice kvačila. Prenosni odnos se može kontinualno menjati u veoma širokom radnom opsegu od 1-85. Promena prenosnog odnosa svodi se na promenu obimne brzine sporohodnog valjka, dok obimna brzina brzohodnog valjka ostaje nepromenjena.

Sistem za hranjenje valjaka za mlevenje sastoji se od usipnog metalnog levka, valjka za hranjenje i zasuna. Donji deo levka je od providnog pleksiglasa i nalazi se u kućištu koje je izrađeno od istog materijala što omogućava vizuelnu kontrolu isticanja materijala koji se dozira na valjke za mlevenje i registrovanje eventualnih problema pri radu (zasvodnjavanje materijala). Valjak hranilice pokreće poseban motor snage 0,37 kW. Valjak za hranjenje se može podešavati u širokom opsegu broja obrtaja od 30-180 o/min. Broj obrtaja valjka hranilice očitava se na odgovarajućem tahometru i podešava preko odgovarajuće ručne poluge tokom rada valjka. Površina valjka hranilice može biti različito obrađena tako da se njihovom izmenom omogućava prilagođavanje prirodi materijala koji se dovodi na usitnjavanje. Zasun hranilice može se pomerati translatorno i kružno tako da se podešavanjem njegovog položaja i broja obrtaja valjka hranilice podešava i reprodukuje određeno specifično opterećenje valjaka.

Sastavni deo uređaja je i instrument (wat metar) za merenje snage potrebne za pokretanje Variostuhla u praznom i radnom hodu (tokom mlevenja).

Opseg promene parametara usitnjavanja daleko prelazi opseg pojedinih parametara usitnjavanja pšenice u pogonskim uslovima, pri čemu geometrijski i kinematički parametri usitnjavanja i nisu operativni u pogonskim uslovima te se praktično u industrijskim mlinovima ne mogu ni ispitivati. Ispitivanja uticaja promene parametara usitnjavanja na efekte mlevenja na Variostuhl-u su znatno jeftinija, mogu se sprovesti u osetno kontrolisanim uslovima u odnosu na pogonska ispitivanja i ista se mogu obaviti za znatno kraće vreme.

### 3.6.2 Laboratorijsko sito

Za analizu sejanja korišćeno je Bühler-ovo laboratorijsko sito model MLU-300 (sl.24). Ekscentar sita je 0,0125 m, broj obrtaja 220 o/min, a sejna površina jednog rama sita 0,053 m<sup>2</sup>. Ukupna sejna površina zavisi od broja rama sita u formiranom slogu. Maksimalan broj rama sita u slogu je devet, a pri analizi sejanja u situacijama kada se mlivo razvrstava na manji broj frakcija ili se želi utvrditi samo prinos brašna mogu se paralelno analizirati dva ili čak tri uzorka na identičnim ili različitim slogovima rama sita.



Sl. 24 – Laboratorijsko sito – model MLU-300, Bühler

Sito pokreće pogonski elektromotor snage 70 W i ima priključen merač vremena za automatsko podešavanje trajanja prosejavanja u rasponu od 0-15 minuta. Čišćenje sejnih tkiva obavlja se pomoću gumenih kuglica koje se stavljaju na presvlaku sita.

### 3.6.3 Ostali pribor

Za merenje mase polaznih uzoraka i frakcija mliva korišćena je automatska tehnička vaga „Sartorius“ sa osetljivošću  $\pm 0.1$  g i maksimalnom odvagom od 3 kg.

Za merenje mase uzoraka za potrebe hemijskih analiza korišćena je tehnička analitička vaga „Mettler“ sa osetljivošću  $\pm 0.0001$ g i maksimalnom odvagom od 200 g.

Za određivanje sadržaja vode u uzorcima korišćena je laboratorijska sušnica „Sutjeska“.

Za određivanje sadržaja pepela u uzorcima korišćena je laboratorijska peć za žarenje „Instrumentaria“ i električni rešo za spaljivanje uzoraka namenjenih za određivanje sadržaja pepela.

Za merenje vremena trajanja usitnjavanja korišćen je hronometar sa tačnošću merenja  $\pm 0.1$  s.

Za podešavanje razmaka između valjaka korišćena su lisnata merila.

## 3.7 METODE RADA

### 3.7.1 Analize polaznih uzoraka

Za sve polazne uzorke određen je granulacioni sastav analizom sejanja u trajanju od 3 minuta na slogu prethodno opisanog Bühler-ovog laboratorijskog sita model MLU-300. Veličina otvora sejnih tkiva sita u slogu (tab.9) odabirana je u skladu sa pretpostavljenim intervalom veličina čestica datih uzoraka, a na osnovu uvida u dijagram mlevenja pšenice u mlinovima A i B. U obzir su uzimani interval veličina čestica i pravac kretanja u tehnološkom postupku onih frakcija mliva (međuproizvoda mlevenja) koji imaju uticaja na granulacioni sastav uzetih uzoraka.

Sadržaj vode i sadržaj pepela polaznih uzoraka određivani su po standarnim ICC metodama [131,132] koje propisuje i važeći Pravilnik [133].

**Tab. 9 – Slogovi rama sita za određivanje granulacionog sastava ispitivanih uzoraka**

polazni uzorak	veličina otvora sejnih tkiva u slogu* [ $\mu\text{m}$ ]				
A1	850	700	600	450	-
A2	850	700	600	450	-
B3	1000	850	700	600	500
B4	350	250	150	-	-
B5	450	350	250	150 (132)	-

\*uključujući i dno

### 3.7.2 Usitnjavanje uzoraka

Kao što je prethodno istaknuto cilj ovog rada je da utvrdi kakve posledice na efekte usitnjavanja ima uključivanje osmovaljne stolice u fazu mlevenja griza i osevaka, odnosno da uporednom analizom utvrdi da li postoje i kakve se razlike efekata usitnjavanja postižu u odnosu na klasičan postupak. Eksperimentalni deo rada upravo je baziran na simulaciji uslova usitnjavanja odabranih polaznih uzoraka u klasičnom postupku, pri kome se koristi standardna dupla valjna stolica, i uslova usitnjavanja ovih uzoraka u postupku sa osmovaljnom stolicom.

Pri simulaciji uslova usitnjavanja u klasičnom postupku mlivo dobijeno usitnjavanjem na prvom prolazištu mlevenja<sup>i</sup>, prosejavano je na laboratorijskom situ pri čemu je veličina otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna prilagođavana uzorku odnosno prolazištu mlevenja. Dobijeni prelaz je vođen na drugo (naredno)<sup>ii</sup> prolazište mlevenja.

Pri simulaciji uslova usitnjavanja u postupku sa osmovaljnom stolicom, celokupna masa mliva nakon prvog prolazišta mlevenja je bez prosejavanja i izdvajanja brašna vođena na naredno prolazište mlevenja.

Za usitnjavanje uzoraka korišćena je prethodno opisana laboratorijska valjna stolica Variostuhl uz primenu glatkih valjaka prečnika 0,25 [m] i valjne dužine 0,1 [m]. Obzirom

---

<sup>i</sup> za uzorke A1, A2 i B3 – prvo prolazište rastvaranja griza – u nastavku teksta 1R, za uzorak B4 – prvo prolazište mlevenja griza i osevaka – u nastavku teksta 1M i za uzorak B5 – peto prolazište mlevenja griza i osevaka - u nastavku teksta 5M

<sup>ii</sup> za uzorke A1, A2 i B3 – drugo prolazište rastvaranja griza – u nastavku teksta 2R, za uzorak B4 – drugo prolazište mlevenja griza i osevaka – u nastavku teksta 2M i za uzorak B5 – šesto prolazište mlevenja griza i osevaka - u nastavku teksta 6M

da se u industrijskim tj. pogonskim uslovima na svim prolazištima u fazi mlevenja griza i osevaka usitnjavanje uglavnom obavlja sa glatkim valjcima, u toku rada nije bila potrebna promena trupaca valjaka i sva ispitivanja realizovana su uz konstantne geometrijske parametre usitnjavanja.

Kinematički parametri usitnjavanja takođe su održavani konstantnim čitavim tokom eksperimentalnog rada, pri čemu je obimna brzina brzohodnog valjka podešena na  $v_b=5.0$  [m/s]. Prilagođavanjem obimne brzine sporohodnog valjka  $v_s$ , prenosni odnos je podešen na  $i=1,25$ . Obimne brzine brzohodnog i sporohodnog valjka očitivane su i kontrolisane tokom rada na odogovarajućem tahometru Variostuhl-a. Prenosni odnos određen je odnosom obimnih brzina odnosno brojeva obrtaja brzohodnog i sporohodnog valjka i računa se prema obrascu:

$$i = \frac{v_b}{v_s} \quad (8)$$

Geometrijski i kinematički parametri usitnjavanja na Variostuhl-u mogu se relativno jednostavno i što je još važnije sasvim pouzdano reprodukovati, dok je reprodukcija tehnoloških parametara usitnjavanja znatno teža (delikatnija). Uvažavajući činjenicu da su tehnološki parametri usitnjavanja-razmak između valjaka i specifično opterećenje valjaka operativni parametri prerade u pogonskim uslovima (specifično opterećenje valjaka je promenljivo samo u određenim granicama), dok geometrijski i kinematički to nisu, istraživanja u ovom radu upravo su bazirana na ispitivanju uticaja promene razmaka između valjaka na efekte mlevenja.

Odgovarajuće specifično opterećenje valjaka ostvarivano je podešavanjem broja obrtaja valjka hranilice što je kontrolisano na odogovarajućem tahometru Variostuhl-a i podešavanjem položaja zasuna hranilice, odnosno merenjem mase materijala koji se usitjava i trajanja doziranja odnosno vremena usitnjavanja date mase polaznog uzorka. Specifično opterećenje valjaka računato je prema obrascu (9)

$$m' = \frac{m}{lT} \times 3600 \times 24 \quad (9)$$

gde je:

- $m$  [kg]-masa materijala koji se dovodi na usitnjavanje,
- $l$  [cm]-radna valjna dužina,
- $T$  [s]-vreme trajanja usitnjavanja i
- $m'$  [kg/cm<sup>2</sup>h]-specifično opterećenje valjaka.



Pri simulaciji uslova usitnjavanja u klasičnom postupku, specifično opterećenje valjaka na drugom prolazištu mlevenja je niže nego na prvom prolazištu saglasno ostvarenom prinosu brašna odnosno masi brašna izdvojenog prosejavanjem pri čemu je vreme usitnjavanja održavano konstantnim na oba prolazišta što je postignuto odgovarajućim položajem zasuna hranilice.

Pri simulaciji uslova usitnjavanja u postupku sa osmovaljnom stolicom specifično opterećenje valjaka isto je na oba prolazišta mlevenja. Obzirom na istu masu polaznog uzorka na oba prolazišta mlevenja, da bi se ostvarilo isto specifično opterećenje valjaka, vreme usitnjavanja na oba prolazišta mlevenja je moralo biti isto (ili bar vrlo blisko) što je takođe zahtevalo određena podešavanja položaja zasuna hranilice jer su, bez obzira na istu masu, uzorci na prvom i drugom prolazištu mlevenja različite granulacije što ima uticaja na vreme doziranja materijala.

U svim etapama parametri hranilice podešavani su na bazi rezultata preliminarnih ispitivanja na odgovarajućim uzorcima za datu etapu. Ugao zasuna hranilice podešen je i održavan na 30° čitavim tokom eksperimentalnog rada odnosno kroz sve etape. Broj obrtaja valjka hranilice, za prve tri etape podešen je na 80 [o/min], a u četvrtoj i petoj etapi na 40 [o/min]. Navedeni brojevi obrtaja valjka hranilice održavani su konstantnim u okviru date etape. Specifično opterećenje valjaka praktično je podešavano translatorskim pomeranjem zasuna hranilice u skladu sa polaznom masom uzorka i potrebnim vremenom usitnjavanja da bi se pri datoj valjnoj dužini ostvarilo željeno specifično opterećenje valjaka (tab.10).

**Tab. 10 – Parametri valjka hranilice i specifično opterećenje valjaka po etapama**

polazni uzorak	ugao zasuna hranilice [°]	broj obrtaja valjka hranilice [o/min]	masa polaznog uzorka [kg]	trajanje usitnjavanja [s]	specifično opterećenje valjaka* [kg/cm <sup>24h</sup> ]
A1	30	80	1	16.5-17.5	500
A2	30	80	1	16.5-17.5	500
B3	30	80	1	16.5-17.5	500
B4	30	40	0.5	15.0-16.0	300
B5	30	40	0.5	21.0-23.0	200

\* na prvom prolazištu mlevenja u datoj etapi

U toku eksperimentalnog rada variran je razmak između valjaka i to:

- za uzorak A1: prolazište 1R: 0.15; 0.10; 0.08 i 0.04 mm<sup>iii</sup>  
prolazište 2R: 0.08; 0.05 i 0.04 mm,
- za uzorak A2: prolazište 1R: 0.15; 0.10; 0.08 i 0.04 mm<sup>iv</sup>  
prolazište 2R: 0.08; 0.05 mm,
- za uzorak B3: prolazište 1R: 0.15; 0.10 i 0.08 mm  
prolazište 2R: 0.08; 0.05 i 0.04 mm,
- za uzorak B4: prolazište 1M: 0.10 i 0.08 mm  
prolazište 2M: 0.08 i 0.05 mm i
- za uzorak B5: prolazište 5M: 0.08; 0.05; 0.04 i 0.03 mm<sup>v</sup>  
prolazište 6M: 0.05; 0.04 i 0.03 mm.

Ispitivanja su realizovana u relativno širokom intervalu (rasponu) variranja razmaka između valjaka, 0.03 mm – 0.15 mm. Navedeni interval odgovara razmacima između valjaka koji se u savremenom tehnološkom postupku mlevenja pšenice primenjuju u fazi mlevenja griza i osevaka pri čemu se, polazeći od prvog prolazišta rastvaranja griza ka poslednjim prolazištima mlevenja griza i osevaka, razmak postepeno smanjuje što je uzeto u obzir prilikom odabira intervala variranja razmaka za pojedine etape. Razmaci između valjaka podešavani su i kontrolisani pomoću seta lisnatih merila.

U svakoj etapi, u zavisnosti od primenjenih razmaka između valjaka, realizovan je odgovarajući broj kombinacija vođenja valjaka (tab.11), pri čemu je svaka kombinacija vođenja valjaka primenjena prilikom simulacije oba ispitivana postupka mlevenja.

Prethodno u tekstu je već istaknuto da je podešavanje i reprodukcija tehnoloških parametara usitnjavanja dosta delikatna. To se pogotovo odnosi na podešavanje razmaka između valjaka u oblasti veoma malih razmaka i veoma malih razlika u razmaku između valjaka (0.05, 0.04, 0.03 mm) što je bila situacija pri istraživanjima u ovom radu. Iz ovih razloga je odlučeno da se, u svakoj od etapa zasebno, nakon podešavanja određenog razmaka između valjaka obave sva planirana usitnjavanja pri datom razmaku, bez obzira da li se radi o usitnjavanju na prvom ili drugom prolazištu mlevenja. Na ovaj način

---

<sup>iii</sup> U nastavku rada, odnosno za usitnjavanje na 2R korišćeno je mlivo dobijeno na 1R pri razmacima 0.15; 0.10 i 0.08 mm.

<sup>iv</sup> U nastavku rada, odnosno za usitnjavanje na 2R korišćeno je mlivo dobijeno na 1R pri razmacima 0.15 i 0.10 mm.

<sup>v</sup> U nastavku rada, odnosno za usitnjavanje na 6M korišćeno je mlivo dobijeno na 5M pri razmacima 0.08; 0.05 i 0.04 mm.

postignuta je reproduktivnost ovog parametra usitnjavanja u okviru pojedinačnih etapa što je bilo neophodno da bi se ostvarili isti uslovi usitnjavanja i time omogućila uporedna analiza efekata usitnjavanja u ispitivanim postupcima. Da bi se mogla realizovati ovakva organizacija eksperimentalnog rada u okviru etape, pre samih usitnjavanja bilo je neophodno poznavanje, što je uslovalo i preliminarno podešavanje, svih položaja zasuna hranilice za oba prolazišta mlevenja i oba ispitivana postupka mlevenja. Takođe, pri svakom od primenjenih razmaka između valjaka na prvom prolazištu mlevenja, samleven je i određen broj »rezervnih« uzoraka koji su poslužili za eventualna naknadna fina podešavanja položaja zasuna hranilice u cilju reprodukcije određenog specifičnog opterećenja valjaka. Radi sigurnosti, broj ovih »rezervnih« uzoraka bio je identičan broju uzoraka koji su usitnjavani na drugom prolazištu mlevenja što je zavisilo od etape, odnosno broja planiranih kombinacija razmaka između valjaka.

**Tab.11 – Vođenje valjaka po etapama istraživanja**

polazni uzorak	prolazište mlevenja	razmak između valjaka [mm]							
A1	1R	0.15	0.15	0.15	0.10	0.10	0.10	0.08	0.08
	2R	0.08	0.05	0.04	0.08	0.05	0.04	0.05	0.04
A2	1R	0.15	0.15	0.10	0.10	-	-	-	-
	2R	0.08	0.05	0.08	0.05	-	-	-	-
B3	1R	0.15	0.15	0.15	0.10	0.10	0.10	0.08	0.08
	2R	0.08	0.05	0.04	0.08	0.05	0.04	0.05	0.04
B4	1M	0.10	0.10	0.08	-	-	-	-	-
	2M	0.08	0.05	0.05	-	-	-	-	-
B5	5M	0.08	0.08	0.08	0.05	0.05	0.04	-	-
	6M	0.05	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	-	-

### 3.7.3 Efekti usitnjavanja

Efekti usitnjavanja, u oba ispitivana postupka, praćeni su određivanjem:

- granulacionog sastava mliva analizom sejanja na odgovarajućim slogovima Bühler-ovog laboratorijskog sita (tab.12),
- prinosa brašna (propad kroz sito sa odgovarajućom veličinom otvora sejnog tkiva),
- sadržaja pepela u svim frakcijama mliva i
- specifičnog utroška energije.

**Tab.12 – Slogovi sita za određivanje granulacionog sastava mliva**

polazni uzorak	prolazište mlevenja	mlevni postupak	veličina otvora sejnih tkiva u slogu* [ $\mu\text{m}$ ]					
			500	350	224	105	-	-
A1	1R	klasićan	500	350	224	105	-	-
	2R	klasićan/ osmovaljak	450	350	224	105	-	-
A2	1R	klasićan	500	350	224	105	-	-
	2R	klasićan	450	350	224	105	-	-
	2R	osmovaljak	450	350	224	(250) <sup>vi</sup>	(265) <sup>vi</sup>	105
B3	1R	klasićan	500	350	224	-	-	-
	2R	klasićan	450	350	224	-	-	-
		osmovaljak	450	350	250	-	-	-
B4	1M / 2M	klasićan	250	200	150	-	-	-
	2M	osmovaljak	250	200	150	(180) <sup>vi</sup>		
B5	5M / 6M	klasićan	350	250	150	-	-	-
	6M	osmovaljak	350	250	150	(180) <sup>vi</sup>	-	-

\*uključujući i metalno dno

Svi navedeni pokazatelji efekata usitnjavanja praćeni su nakon oba prolazišta mlevenja pri simulaciji uslova usitnjavanja u klasićnom postupku, odnosno nakon drugog

<sup>vi</sup> Različite varijante sloga sita

prolazišta mlevenja pri simulaciji uslova usitnjavanja u postupku sa osmovaljnom stolicom.

Analiza sejanja rađena je prosejavanjem celokupne mase mliva pri čemu je masa pojedinačnih proba iznosila oko 100 g<sup>vii</sup> dok je vreme prosejavanja podešeno na 3 min. Obzirom da je masa polaznih uzoraka za usitnjavanje iznosila 1 ili 0.5 kg, za svaki uzorak je urađen veći broj pojedinačnih prosejavanja na istom slogu sita. Granulacioni sastav mliva ili prinos brašna određen je zbrajanjem mase frakcija odgovarajućih (istih) intervala veličina i izražen je masenim udelima frakcija mliva u odnosu na masu polaznog uzorka.

Pri simulaciji uslova usitnjavanja u klasičnom postupku, kod odgovarajućeg broja uzoraka (zavisi od broja predviđenih kombinacija razmaka između valjaka što varira u zavisnosti od etape), nakon prvog prolazišta mlevenja mlivo je prosejavano na situ sa odgovarajućom veličinom otvora sejnog tkiva (224 µm za uzorke A1, A2 i B3 i 150 µm za uzorke B4 i B5), čime je istovremeno pripremljen uzorak za drugo prolazište mlevenja (prelaz sa datog sita) i određen prinos brašna nakon prvog prolazišta.

Kod uzorka B3, brašno dobijeno nakon prvog i drugog prolazišta mlevenja u klasičnom postupku (<224 µm) i drugog prolazišta mlevenja u postupku sa osmovaljnom stolicom (<250 µm), dodatno je prosejavano na slogu sita (224, 212, 200, 180, 150, 132 µm uključujući i dno) pri čemu je određen prinos frakcija brašna vrlo uskog intervala krupnoće čestica.

Ukupan prinos brašna nakon dva prolazišta mlevenja u oba ispitivana postupka određivan je prema opštem obrascu (10)

$$b = \frac{\sum m_i}{M} \times 100 \quad (10)$$

gde je:

- b – prinos brašna (%),
- m – masa odgovarajuće frakcije mliva (brašno) [g],
- i (indeks) – odgovarajuća frakcija mliva (brašno) dobijena nakon prvog i drugog prolazišta mlevenja u klasičnom postupku odnosno nakon drugog prolazišta mlevenja u postupku sa osmovaljnom stolicom i
- M – masa polaznog uzorka<sup>viii</sup> [g].

---

<sup>vii</sup> U skladu sa metodskim preporukama

<sup>viii</sup> Odnosi se na masu polaznog uzorka usitnjavanog na prvom prolazištu mlevenja za datu etapu

Sadržaj pepela određivan je, prema standardnoj ICC metodi [132], u svim frakcijama mliva nakon oba prolazišta mlevenja pri simulaciji uslova usitnjavanja u klasičnom postupku, odnosno u svim frakcijama mliva nakon drugog prolazišta mlevenja pri simulaciji uslova usitnjavanja u postupku sa osmovaljnom stolicom.

Sadržaj pepela u ukupnoj masi brašna nakon drugog prolazišta mlevenja u oba ispitivana postupka određivan je prema obrascu (11)

$$P = \frac{\sum m_i p_i}{\sum m_i} \quad (11)$$

gde je:

- P – prosečan sadržaj pepela u ukupnoj masi brašna (%)<sub>sm</sub>,
- m – masa odgovarajuće frakcije mliva (brašno) [g],
- p – sadržaj pepela odgovarajuće frakcije mliva (brašno) (%)<sub>sm i</sub>
- i (indeks) – odgovarajuća frakcija mliva (brašno) dobijena nakon prvog i drugog prolazišta mlevenja u klasičnom postupku odnosno nakon drugog prolazišta mlevenja u postupku sa osmovaljnom stolicom.

Specifični utrošak energije može se izražavati po jedinici mase samlevenog materijala ili po jedinici mase brašna<sup>ix</sup> i značajno zavisi od odabrane merne jedinice. Obzirom da je prinos brašna najpouzdaniji kvantitativni pokazatelj efektivnosti usitnjavanja griza i osevaka u ovom radu je odabrano da se specifični utrošak energije izražava u odnosu na masu izdvojenog brašna.

Pored toga specifični utrošak energije može se izražavati kao ukupni, koji obuhvata utrošak energije za samo usitnjavanje kao i utrošak energije za održavanje određenog broja obrtaja valjaka Variostuhl-a, ili kao utrošak energije za samo usitnjavanje koji se izračunava na osnovu podataka o snazi pri radnom (u toku mlevenja) i praznom hodu Variostuhl-a kao i podataka o masenom protoku materijala (brašna). U teorijskom delu ovog rada istaknuto je da se primenom osmovaljne stolice u odnosu na klasičan postupak ostvaruju značajne energetske uštede i to po više osnova. Ipak pri realizaciji ispitivanja u ovom radu nije bilo moguće dati kompletno poređenje utroška energije u ispitivanim postupcima te je iz tih razloga odlučeno da se poređenje utroška energije u ispitivanim postupcima ograniči na specifični utrošak energije za samo usitnjavanje.

---

<sup>ix</sup> Može se izraziti i po jedinici novonastale površine ali se ovaj način u praksi vrlo retko koristi.

Specifični utrošak energije za usitnjavanje po jedinici mase brašna izračunavan je prema obrascu (12) za klasičan postupak odnosno obrascu (13) za postupak sa primenom osmovaljne stolice

$$E = \frac{(P_{r1} - P_{p1})}{m_{b1}} \cdot t_1 + \frac{(P_{r2} - P_{p2})}{m_{b2}} \cdot t_2 \quad (12)$$

$$E = \frac{(P_{r1} - P_{p1}) + (P_{r2} - P_{p2})}{m_b} \cdot (t_1 + t_2) \quad (13)$$

gde je:

- E – specifični utrošak energije za usitnjavanje [kJ/kg],
- $P_{r1}$ ,  $P_{r2}$  – snaga pri radnom hodu Variostuhl-a na prvom i drugom prolazištu mlevenja [kW],
- $P_{p1}$ ,  $P_{p2}$  – snaga pri praznom hodu Variostuhl-a na prvom i drugom prolazištu mlevenja [kW],
- $m_{b1}$ ,  $m_{b2}$  – masa brašna nakon prvog i drugog prolazišta mlevenja u klasičnom postupku [kg],
- $m_b$  – masa brašna nakon drugog prolazišta mlevenja u postupku sa osmovaljnom stolicom [kg] i
- $t_1$ ,  $t_2$  – vreme trajanja usitnjavanja na prvom, odnosno drugom prolazištu mlevenja [s].

### 3.7.4 Metode statističke analize rezultata ispitivanja

Prethodna iskustva u radu sa laboratorijskom valjnom stolicom Variostuhl pokazala su da je, pri usitnjavanju istog uzorka pri konstatnim parametrima usitnjavanja, reproduktivnost rezultata analize sejanja vrlo dobra. Obzirom da se veliki deo rada u okviru disertacije upravo bazira na rezultatima analize sejanja odnosno masenog udela frakcija mliva određenog intervala veličina čestica, odlučeno je da se na početku eksperimentalnog rada definiše interval poverenja za dobijene podatke. U tu svrhu je pet različitih polaznih uzoraka usitnjavano pri takođe različitim parametrima usitnjavanja koji su izabrani nasumično (nema potrebe za njihovim navođenjem), ali su u okviru tri ponavljanja za svaki pojedinačni uzorak održavani konstantnim. Nakon usitnjavanja

svakog uzorka određen je prinos brašna (tab.13) prosejavanjem na istom laboratorijskom situ koje je u okviru eksperimentalnog rada korišćeno za analizu sejanja.

**Tab.13 - Prinos brašna ostvaren usitnjavanjem različitih polaznih uzoraka**

uzorak	prinos brašna (%)		
	proba 1	proba 2	proba 3
1	13.80	13.75	13.87
2	17.86	17.86	18.10
3	20.89	20.97	21.08
4	15.70	15.41	15.72
5	17.30	17.93	18.05

Na bazi prikazanih rezultata (tab.13), primenom  $3\sigma$  pravila, definisan je 99.7% interval poverenja za prikazane masene udele frakcija mliva dobijenih usitnjavanjem na Variostuhl-u i prosejavanjem na laboratorijskom situ koji iznosi  $\pm 0.37$  %.

Značajnost razlike između pokazatelja efekata usitnjavanja koji se ostvaruju u ispitivanim postupcima testirana je primenom uparenog Studentovog t-testa pri čemu je proračun obavljen primenom programa ORIGIN 6.1.



### 3.8 REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISPITIVANJA

Svi rezultati eksperimentalnih ispitivanja predstavljaju srednje vrednosti dva ponavljanja. Kod odstupanja rezultata dve paralelne analize (nivo odstupanja zavisi od tipa analize) rađena je i treća analiza (ponavljanje) kojom je potvrđen (odnosno odbačen) rezultat jedne od prethodne dve analize.

Rezultati su prikazani u tabelama, grupisani po pokazateljima efektivnosti usitnjavanja i polaznim uzorcima odnosno etapama. Na početku su prikazani sadržaj vode i sadržaj pepela polaznih uzoraka (tab.14) kao i njihov granulacioni sastav (tab.15). Zatim je dat granulacioni sastav mliva, nakon prvog i drugog prolazišta mlevenja u klasičnom postupku odnosno drugog prolazišta mlevenja u postupku sa osmovaljnom stolicom, grupisan po etapama (A1: tab.16 – tab.18; A2: tab.19 – tab.21; B3: tab.22 – tab.24; B4: tab.25 – tab.27; B5: tab.28 – tab.30). Sledi uporedni prikaz ukupnog prinosa brašna nakon dva prolazišta mlevenja u klasičnom i postupku sa osmovaljnom stolicom (A1: tab.31; A2: tab.32; B3: tab.33 – tab.35; B4: tab.36; B5: tab.37). Dalje je prikazan sadržaj pepela u frakcijama mliva nakon prvog i drugog prolazišta mlevenja u klasičnom postupku odnosno drugog prolazišta mlevenja u postupku sa osmovaljnom stolicom (A1: tab.38 – tab.40; A2: tab.41 – tab.43; B3: tab.44 – tab.46; B4: tab.47 – tab.49; B5: tab.50 – tab.52). Nakon toga sledi uporedni prikaz sadržaja pepela u ukupnoj masi brašna (A1: tab.53; A2: tab.54; B3: tab.55; B4: tab.56; B5: tab.57) i specifičnog utroška energije (A1: tab.58; A2: tab.59; B3: tab.60; B4: tab.61; B5: tab.62) nakon dva prolazišta mlevenja u ispitivanim postupcima.

#### 3.8.1 Rezultati analiza polaznih uzoraka

**Tab.14 – Sadržaj vode i sadržaj pepela u polaznim uzorcima**

uzorak	A1	A2	B3	B4	B5
sadržaj vode (%)	14.1	14.3	13.3	13.9	12.8
sadržaj pepela (%) <sub>sm</sub>	0.51	0.62	1.12	0.59	2.22

**Tab.15 – Granulacioni sastav polaznih uzoraka**

polazni uzorak	prinos frakcija (%)									
A1	> 850 µm	850 / 710 µm	710 / 600 µm	600 / 450 µm	< 450 µm	-				
	5.3	53.3	23.6	13.0	4.85	-				
A2	> 850 µm	850 / 710 µm	710 / 600 µm	600 / 450 µm	< 450 µm	-				
	33.5	57.6	7.0	1.2	0.7	-				
B3	> 1000 µm	1000 / 850 µm	850 / 710 µm	710 / 600 µm	600 / 500 µm	< 500 µm				
	0.9	17.8	25.2	24.6	28.4	3.3				
B4	> 350 µm	350 / 250 µm	250 / 150 µm	< 150 µm	-	-				
	4.7	31.3	56.2	8.3	-	-				
	> 350 µm	350 / 250 µm	250 / 132 µm	< 132 µm	-	-				
	4.6	30.8	62.5	1.8	-	-				
B5	> 450 µm	450 / 350 µm	350 / 250 µm	250 / 150 µm	< 150 µm	-				
	2.2	11.6	17.1	49.3	19.7	-				
	> 450 µm	450 / 350 µm	350 / 250 µm	250 / 132 µm	< 132 µm	-				
	2.1	12.2	19.9	62.7	3.1	-				

## 3.8.2 Granulacioni sastav mliva

Tab.16 – 1R (A1)

razmak između valjaka [mm]	prinos frakcija mliva (%)				
	>500 $\mu\text{m}$	500/350 $\mu\text{m}$	350/224 $\mu\text{m}$	224/105 $\mu\text{m}$	<105 $\mu\text{m}$
0,15	28.3	43.8	14.9	8.2	4.9
0,10	22.2	40.7	19.9	10.5	6.8
0,08	17.6	39.6	22.8	12.5	7.6
0,04	16.7	36.7	25.4	13.5	7.8

Tab.17 – 2R<sup>x</sup> (A1)

razmak između valjaka [mm]	prinos frakcija mliva (%)				
	>450 $\mu\text{m}$	450/350 $\mu\text{m}$	350/224 $\mu\text{m}$	224/105 $\mu\text{m}$	<105 $\mu\text{m}$
1R-0.15; 2R-0.08	9.8	27.5	43.0	13.9	5.8
1R-0.15; 2R-0.05	8.8	26.2	41.9	16.4	6.8
1R-0.15; 2R-0.04	8.0	22.9	44.4	17.8	6.9
1R-0.10; 2R-0.08	7.6	24.1	47.1	15.4	5.8
1R-0.10; 2R-0.05	6.5	22.2	46.0	18.5	6.8
1R-0.10; 2R-0.04	6.2	20.4	46.9	19.4	7.1
1R-0.08; 2R-0.05	5.1	20.3	46.5	20.9	7.1
1R-0.08; 2R-0.04	4.8	17.3	48.8	21.7	7.4

---

<sup>x</sup> Materijal usitnjavan na 2R – prelaz sa rame sita veličine otvora 224  $\mu\text{m}$  od mliva 1R

Tab.18 – 2R<sup>xi</sup> (A1)

razmak između valjaka [mm]	prinos frakcija mliva (%)				
	>450 μm	450/350 μm	350/224 μm	224/105 μm	<105 μm
1R-0.15; 2R-0.08	11.3	27.1	34.7	16.6	10.4
1R-0.15; 2R-0.05	10.3	26.8	34.3	17.7	10.9
1R-0.15; 2R-0.04	7.7	22.9	38.3	19.4	11.6
1R-0.10; 2R-0.08	7.1	22.8	38.3	19.8	11.9
1R-0.10; 2R-0.05	7.2	21.4	37.8	20.9	12.7
1R-0.10; 2R-0.04	6.0	18.7	40.4	22.0	12.9
1R-0.08; 2R-0.05	6.2	18.6	38.5	22.7	14.1
1R-0.08; 2R-0.04	4.8	16.0	41.0	24.1	14.1

Tab.19 – 1R (A2)

razmak između valjaka [mm]	prinos frakcija mliva (%)				
	>500 μm	500/350 μm	350/224 μm	224/105 μm	<105 μm
0,15	35.9	35.5	13.2	9.1	6.3
0,10	32.8	34.5	15.4	10.2	7.1

Tab.20 – 2R<sup>x</sup> (A2)

razmak između valjaka [mm]	prinos frakcija mliva (%)				
	>450 μm	450/350 μm	350/224 μm	224/105 μm	<105 μm
1R-0.15; 2R-0.08	18.8	28.6	34.6	12.3	5.7
1R-0.15; 2R-0.05	16.0	27.8	35.8	14.0	6.4
1R-0.10; 2R-0.08	16.7	25.3	37.2	14.1	6.7
1R-0.10; 2R-0.05	14.2	24.1	38.5	15.6	7.8

---

<sup>xi</sup> Materijal usitnjavan na 2R – celokupno mlivo od 1R

Tab.21 – 2R<sup>xi</sup> (A2)

razmak između valjaka [mm]	prinos frakcija mliva (%)				
	>450 μm	450/350 μm	350/224 μm	224/105 μm	<105 μm
1R-0.15; 2R-0.08	17.8	26.0	27.9	16.5	11.8
1R-0.15; 2R-0.05	15.2	24.3	31.4	17.5	11.6
1R-0.10; 2R-0.08	15.1	23.0	30.8	19.2	11.9
1R-0.10; 2R-0.05	12.9	22.4	32.5	20.7	12.5
	> 450 μm	450/350 μm	350/250 μm	250/105 μm	< 105 μm
1R-0.15; 2R-0.08	17.5	25.9	24.3	21.0	11.3
1R-0.15; 2R-0.05	15.4	25.0	24.8	23.7	11.1
1R-0.10; 2R-0.08	14.3	22.2	26.8	24.8	11.9
1R-0.10; 2R-0.05	13.1	22.1	25.7	26.4	12.7
	> 450 μm	450/350 μm	350/265 μm	265/105 μm	< 105 μm
1R-0.15; 2R-0.08	17.1	25.4	23.2	23.1	11.2
1R-0.15; 2R-0.05	15.2	24.5	23.9	24.0	12.4
1R-0.10; 2R-0.08	14.1	22.1	25.1	26.3	12.4
1R-0.10; 2R-0.05	13.2	21.3	24.4	27.4	13.7

Tab.22 – 1R (B3)

razmak između valjaka [mm]	prinos frakcija mliva (%)			
	>500 μm	500/350 μm	350/224 μm	<224μm
0,15	44.0	35.8	11.4	8.7
0,10	41.5	33.5	14.4	10.6
0,08	36.9	33.4	16.3	13.4

Tab.23 – 2R<sup>x</sup> (B3)

razmak između valjaka [mm]	prinos frakcija mliva (%)			
	>450 μm	450/350 μm	350/250 μm	<250μm
1R-0.15; 2R-0.08	26.6	33.8	24.1	15.5
1R-0.15; 2R-0.05	26.3	33.1	24.5	16.1
1R-0.15; 2R-0.04	26.2	31.0	23.9	17.7
1R-0.10; 2R-0.08	24.2	32.7	26.1	16.9
1R-0.10; 2R-0.05	24.3	32.3	26.1	17.3
1R-0.10; 2R-0.04	23.7	30.4	26.2	19.7
1R-0.08; 2R-0.05	21.7	29.6	29.3	19.4
1R-0.08; 2R-0.04	22.8	27.1	28.2	21.9

Tab.24 – 2R<sup>xi</sup> (B3)

razmak između valjaka [mm]	prinos frakcija mliva (%)			
	>450 μm	450/350 μm	350/250 μm	<250μm
1R-0.15; 2R-0.08	25.5	32.7	20.0	21.9
1R-0.15; 2R-0.05	25.7	28.6	21.1	24.6
1R-0.15; 2R-0.04	23.1	30.8	21.2	24.9
1R-0.10; 2R-0.08	24.4	30.1	21.3	24.1
1R-0.10; 2R-0.05	22.8	27.6	22.8	26.7
1R-0.10; 2R-0.04	21.7	28.1	23.2	27.2
1R-0.08; 2R-0.05	20.8	24.6	23.8	30.7
1R-0.08; 2R-0.04	19.0	25.3	24.6	31.1

Tab.25 – 1M (B4)

razmak između valjaka [mm]	prinos frakcija mliva (%)			
	> 250 $\mu\text{m}$	250/200 $\mu\text{m}$	200/150 $\mu\text{m}$	< 150 $\mu\text{m}$
0.10	24.8	31.7	28.3	15.2
0,08	23.6	34.6	25.1	16.7

Tab.26 – 2M<sup>xii</sup> (B4)

razmak između valjaka [mm]	prinos frakcija mliva (%)			
	> 250 $\mu\text{m}$	250/200 $\mu\text{m}$	200/150 $\mu\text{m}$	< 150 $\mu\text{m}$
1M-0,10; 2M-0,08	22.1	37.8	28.9	11.1
1M-0,10; 2M-0,05	21.4	36.7	28.1	13.8
1M-0,08; 2M-0,05	18.9	35.4	29.9	15.8

Tab.27 – 2M<sup>xiii</sup> (B4)

razmak između valjaka [mm]	prinos frakcija mliva (%)			
	> 250 $\mu\text{m}$	250/200 $\mu\text{m}$	200/150 $\mu\text{m}$	< 150 $\mu\text{m}$
1M-0,10; 2M-0,08	18.8	32.1	27.4	21.6
1M-0,10; 2M-0,05	17.7	31.5	26.4	24.4
1M-0,08; 2M-0,05	17.0	31.1	26.6	25.3
	> 250 $\mu\text{m}$	250/200 $\mu\text{m}$	200/180 $\mu\text{m}$	< 180 $\mu\text{m}$
1M-0,10; 2M-0,08	19.9	32.6	17.7	29.8
1M-0,10; 2M-0,05	18.3	31.7	20.7	29.3
1M-0,08; 2M-0,05	18.0	31.5	18.9	31.6

<sup>xii</sup> Materijal usitnjavan na 2M – prelaz sa rame sita veličine otvora 150  $\mu\text{m}$  od mliva 1M

<sup>xiii</sup> Materijal usitnjavan na 2M – celokupno mlivo od 1M

Tab.28 – 5M (B5)

razmak između valjaka [mm]	prinos frakcija mliva (%)			
	> 350 $\mu\text{m}$	350/250 $\mu\text{m}$	250/150 $\mu\text{m}$	< 150 $\mu\text{m}$
0,08	13.0	19.3	47.3	20.4
0,05	11.5	18.3	44.7	25.6
0,04	10.8	17.6	44.5	27.1
0,03	10.6	17.0	44.7	27.8

Tab.29 – 6M<sup>xiv</sup> (B5)

razmak između valjaka [mm]	prinos frakcija mliva (%)			
	> 350 $\mu\text{m}$	350/250 $\mu\text{m}$	250/150 $\mu\text{m}$	< 150 $\mu\text{m}$
5M-0,08; 6M-0,05	13.6	21.4	50.2	14.8
5M-0,08; 6M-0,04	12.9	21.3	49.4	16.3
5M-0,08; 6M-0,03	12.8	20.9	48.2	18.1
5M-0,05; 6M-0,04	13.2	21.5	49.6	15.7
5M-0,05; 6M-0,03	12.3	20.6	49.3	17.7
5M-0,04; 6M-0,03	13.1	21.4	48.2	17.3

---

<sup>xiv</sup> Materijal usitnjavan na 6M – prelaz sa rame sita veličine otvora 150  $\mu\text{m}$  od mliva 5M



Tab.30 – 6M<sup>xv</sup> (B5)

razmak između valjaka [mm]	prinos frakcija mliva (%)			
	> 350 μm	350/250 μm	250/150 μm	< 150 μm
5M-0,08; 6M-0,05	10.9	17.9	42.6	28.6
5M-0,08; 6M-0,04	10.1	16.7	43.0	30.1
5M-0,08; 6M-0,03	10.1	16.7	41.9	31.3
5M-0,05; 6M-0,04	9.9	16.3	40.0	33.7
5M-0,05; 6M-0,03	9.5	16.7	39.1	34.6
5M-0,04; 6M-0,03	8.9	16.5	39.9	34.6
	> 350 μm	350/250 μm	250/180 μm	< 180 μm
5M-0,08; 6M-0,05	11.0	14.2	36.3	36.8
5M-0,08; 6M-0,04	10.7	17.2	34.9	37.2
5M-0,08; 6M-0,03	10.1	16.7	35.4	37.8
5M-0,05; 6M-0,04	9.7	16.4	33.6	40.2
5M-0,05; 6M-0,03	9.4	16.0	33.2	41.3
5M-0,04; 6M-0,03	9.2	16.0	33.7	41.1

---

<sup>xv</sup> Materijal usitnjava na 6M – celokupno mlivo od 5M

## 3.8.3 Prinos brašna

Tab.31 – Prinos brašna nakon 2R (A1)

razmak između valjaka [mm]	prinos brašna (%)	
	klasičan postupak	postupak sa osmovaljkom
	< 224 $\mu\text{m}$	< 224 $\mu\text{m}$
1R-0.15; 2R-0.08	30.6	27.0
1R-0.15; 2R-0.05	33.6	28.6
1R-0.15; 2R-0.04	34.8	31.0
1R-0.10; 2R-0.08	35.0	31.7
1R-0.10; 2R-0.05	38.4	33.6
1R-0.10; 2R-0.04	39.6	34.9
1R-0.08; 2R-0.05	42.9	36.8
1R-0.08; 2R-0.04	43.6	38.2

Tab.32 – Prinos brašna nakon 2R (A2)

razmak između valjaka [mm]	prinos brašna (%)			
	klasičan postupak	postupak sa osmovaljkom		
	< 224 $\mu\text{m}$	< 224 $\mu\text{m}$	< 250 $\mu\text{m}$	< 265 $\mu\text{m}$
1R-0.15; 2R-0.08	30.5	28.3	32.3	34.3
1R-0.15; 2R-0.05	32.7	29.1	34.8	36.4
1R-0.10; 2R-0.08	34.7	31.1	36.7	38.7
1R-0.10; 2R-0.05	36.7	33.2	39.1	41.1

Tab.33 – Prinos brašna nakon 2R (B3)

prinos brašna (%)	razmak između valjaka [mm]					
	1R-0.15; 2R-0.08		1R-0.15; 2R-0.05		1R-0.15; 2R-0.04	
	klasičan postupak	postupak sa osmovaljkom	klasičan postupak	postupak sa osmovaljkom	klasičan postupak	postupak sa osmovaljkom
< 132 $\mu\text{m}$	8.4	7.1	9.0	7.8	9.4	7.7
< 150 $\mu\text{m}$	10.8	10.3	11.7	10.7	12.3	11.3
< 180 $\mu\text{m}$	12.7	12.1	13.5	12.6	14.3	13.3
< 200 $\mu\text{m}$	14.8	13.9	15.6	14.6	16.7	15.4
< 212 $\mu\text{m}$	17.4	16.3	18.3	17.1	19.7	17.9
< 224 $\mu\text{m}$	20.4	18.6	21.6	19.9	23.3	20.6
< 250 $\mu\text{m}$	-	21.8	-	24.4	-	24.9

Tab.34 – Prinos brašna nakon 2R (B3)

prinos brašna (%)	razmak između valjaka [mm]					
	1R-0.10; 2R-0.08		1R-0.10; 2R-0.05		1R-0.10; 2R-0.04	
	klasičan postupak	postupak sa osmovaljkom	klasičan postupak	postupak sa osmovaljkom	klasičan postupak	postupak sa osmovaljkom
< 132 $\mu\text{m}$	9.8	8.4	9.3	8.1	9.8	8.2
< 150 $\mu\text{m}$	12.2	11.5	12.0	11.7	13.0	12.0
< 180 $\mu\text{m}$	14.1	13.3	14.0	13.7	15.1	14.0
< 200 $\mu\text{m}$	16.4	15.4	16.3	15.8	17.5	16.3
< 212 $\mu\text{m}$	19.3	17.9	19.3	18.4	20.8	19.1
< 224 $\mu\text{m}$	22.7	20.4	23.1	21.6	25.1	22.4
< 250 $\mu\text{m}$	-	24.0	-	26.3	-	27.0

Tab.35 – Prinos brašna nakon 2R (B3)

prinos brašna (%)	razmak između valjaka [mm]			
	1R-0.08; 2R-0.05		1R-0.08; 2R-0.04	
	klasičan postupak	postupak sa osmovaljkom	klasičan postupak	postupak sa osmovaljkom
< 132 $\mu\text{m}$	10.4	9.1	10.7	10.1
< 150 $\mu\text{m}$	13.6	13.4	14.6	14.0
< 180 $\mu\text{m}$	15.8	15.7	17.1	16.4
< 200 $\mu\text{m}$	18.2	18.2	19.7	19.2
< 212 $\mu\text{m}$	21.5	21.3	23.4	22.6
< 224 $\mu\text{m}$	25.8	24.7	27.8	26.1
< 250 $\mu\text{m}$	-	30.2	-	30.9

Tab.36 - Prinos brašna nakon 2M (B4)

razmak između valjaka [mm]	prinos brašna (%)			
	klasičan postupak	postupak sa osmovaljkom		
	< 150 $\mu\text{m}$	< 150 $\mu\text{m}$	< 180 $\mu\text{m}$	< 200 $\mu\text{m}$
1M-0.10; 2M-0.08	27.4	21.6	29.8	49.0
1M-0.10; 2M-0.05	29.7	24.4	29.3	50.8
1M-0.08; 2M-0.05	33.1	25.3	31.6	51.9

Tab.37 - Prinos brašna nakon 6M (B5)

razmak između valjaka [mm]	prinos brašna (%)		
	klasičan postupak	postupak sa osmovaljkom	
	< 150 $\mu\text{m}$	< 150 $\mu\text{m}$	< 180 $\mu\text{m}$
5M-0.08; 6M-0.05	33.1	28.6	36.8
5M-0.08; 6M-0.04	34.3	30.1	37.2
5M-0.08; 6M-0.03	35.9	31.3	37.8
5M-0.05; 6M-0.04	38.5	33.7	40.2
5M-0.05; 6M-0.03	40.0	34.6	41.3
5M-0.04; 6M-0.03	40.5	34.6	41.1

## 3.8.4 Sadržaj pepela u frakcijama mliva

Tab.38 – 1R (A1)

razmak između valjaka [mm]	sadržaj pepela (%) <sub>sm</sub>				
	>500 μm	500/350 μm	350/224 μm	224/105 μm	<105 μm
0,15	0.72	0.42	0.40	0.40	0.49
0,10	0.83	0.47	0.44	0.44	0.49
0,08	0.89	0.47	0.42	0.43	0.50
0,04	0.93	0.46	0.41	0.41	0.47

Tab.39 – 2R<sup>x</sup> (A1)

razmak između valjaka [mm]	sadržaj pepela (%) <sub>sm</sub>				
	>450 μm	450/350 μm	350/224 μm	224/105 μm	<105 μm
1R-0.15; 2R-0.08	1.42	0.40	0.37	0.37	0.41
1R-0.15; 2R-0.05	1.58	0.47	0.42	0.36	0.46
1R-0.15; 2R-0.04	1.64	0.47	0.39	0.38	0.43
1R-0.10; 2R-0.08	1.71	0.44	0.36	0.35	0.41
1R-0.10; 2R-0.05	1.93	0.43	0.35	0.37	0.42
1R-0.10; 2R-0.04	2.09	0.43	0.33	0.34	0.40
1R-0.08; 2R-0.05	2.24	0.51	0.37	0.37	0.42
1R-0.08; 2R-0.04	2.33	0.51	0.40	0.37	0.43

Tab.40 – 2R<sup>xi</sup> (A1)

razmak između valjaka [mm]	sadržaj pepela (%) <sub>sm</sub>				
	>450 μm	450/350 μm	350/224 μm	224/105 μm	<105 μm
1R-0.15; 2R-0.08	1.18	0.41	0.36	0.38	0.44
1R-0.15; 2R-0.05	1.23	0.39	0.35	0.36	0.39
1R-0.15; 2R-0.04	1.49	0.43	0.35	0.37	0.42
1R-0.10; 2R-0.08	1.53	0.44	0.35	0.38	0.43
1R-0.10; 2R-0.05	1.63	0.41	0.35	0.36	0.41
1R-0.10; 2R-0.04	1.80	0.46	0.38	0.37	0.45
1R-0.08; 2R-0.05	1.86	0.41	0.34	0.36	0.41
1R-0.08; 2R-0.04	2.05	0.43	0.36	0.36	0.42

Tab.41 – 1R (A2)

razmak između valjaka [mm]	sadržaj pepela (%) <sub>sm</sub>				
	>500 μm	500/350 μm	350/224 μm	224/105 μm	<105 μm
0,15	0.99	0.39	0.32	0.35	0.35
0,10	1.19	0.37	0.34	0.34	0.36

Tab.42 – 2R<sup>x</sup> (A2)

razmak između valjaka [mm]	sadržaj pepela (%) <sub>sm</sub>				
	>450 μm	450/350 μm	350/224 μm	224/105 μm	<105 μm
1R-0.15; 2R-0.08	1.89	0.40	0.34	0.35	0.37
1R-0.15; 2R-0.05	2.05	0.37	0.36	0.35	0.37
1R-0.10; 2R-0.08	1.88	0.39	0.35	0.35	0.37
1R-0.10; 2R-0.05	2.07	0.38	0.36	0.35	0.37

Tab.43 – 2R<sup>xi</sup> (A2)

razmak između valjaka [mm]	sadržaj pepela (%) <sub>sm</sub>				
	>450 μm	450/350 μm	350/224 μm	224/105 μm	<105 μm
1R-0.15; 2R-0.08	1.83	0.35	0.35	0.32	0.36
1R-0.15; 2R-0.05	2.00	0.37	0.37	0.36	0.37
1R-0.10; 2R-0.08	2.09	0.37	0.35	0.34	0.35
1R-0.10; 2R-0.05	2.16	0.36	0.36	0.37	0.39
	> 450 μm	450/350 μm	350/250 μm	250/105 μm	< 105 μm
1R-0.15; 2R-0.08	1.84	0.37	0.35	0.32	0.35
1R-0.15; 2R-0.05	2.02	0.39	0.37	0.35	0.38
1R-0.10; 2R-0.08	2.05	0.38	0.35	0.34	0.36
1R-0.10; 2R-0.05	2.13	0.38	0.35	0.35	0.37
	> 450 μm	450/350 μm	350/265 μm	265/105 μm	< 105 μm
1R-0.15; 2R-0.08	1.87	0.36	0.35	0.33	0.34
1R-0.15; 2R-0.05	2.02	0.40	0.37	0.35	0.38
1R-0.10; 2R-0.08	2.06	0.40	0.35	0.34	0.36
1R-0.10; 2R-0.05	2.15	0.37	0.35	0.35	0.37

Tab.44 – 1R (B3)

razmak između valjaka [mm]	sadržaj pepela (%) <sub>sm</sub>				
	>500 μm	500/350 μm	350/224 μm	224/132 μm	<132 μm
0,15	2.05	0.51	0.43	0.50	0.54
0,10	2.25	0.50	0.39	0.47	0.57
0,08	2.82	0.54	0.39	0.48	0.57



Tab.45 – 2R<sup>x</sup> (B3)

razmak između valjaka [mm]	sadržaj pepela (%) <sub>sm</sub>					
	>450 μm	450/350 μm	350/250 μm	250/224 μm	224/132 μm	<132 μm
1R-0.15; 2R-0.08	3.36	0.61	0.40	0.42	0.48	0.57
1R-0.15; 2R-0.05	3.52	0.67	0.42	0.47	0.51	0.59
1R-0.15; 2R-0.04	3.72	0.70	0.42	0.43	0.48	0.58
1R-0.10; 2R-0.08	3.67	0.61	0.39	0.41	0.47	0.58
1R-0.10; 2R-0.05	3.70	0.63	0.43	0.41	0.46	0.55
1R-0.10; 2R-0.04	3.73	0.69	0.41	0.42	0.48	0.57
1R-0.08; 2R-0.05	3.78	0.72	0.42	0.38	0.47	0.58
1R-0.08; 2R-0.04	4.08	0.80	0.43	0.39	0.48	0.58

Tab.46 – 2R<sup>xi</sup> (B3)

razmak između valjaka [mm]	sadržaj pepela (%) <sub>sm</sub>					
	>450 μm	450/350 μm	350/250 μm	250/224 μm	224/132 μm	<132 μm
1R-0.15; 2R-0.08	3.35	0.60	0.40	0.43	0.48	0.61
1R-0.15; 2R-0.05	3.51	0.63	0.46	0.43	0.49	0.60
1R-0.15; 2R-0.04	3.73	0.69	0.42	0.44	0.50	0.65
1R-0.10; 2R-0.08	3.67	0.61	0.40	0.48	0.48	0.60
1R-0.10; 2R-0.05	3.70	0.66	0.46	0.42	0.48	0.58
1R-0.10; 2R-0.04	3.84	0.67	0.44	0.41	0.46	0.55
1R-0.08; 2R-0.05	3.94	0.71	0.41	0.42	0.47	0.54
1R-0.08; 2R-0.04	3.95	0.72	0.42	0.40	0.44	0.51

Tab.47 – 1M (B4)

razmak između valjaka [mm]	sadržaj pepela (%) <sub>sm</sub>			
	> 250 μm	250/200 μm	200/150 μm	< 150 μm
0.10	0.87	0.41	0.33	0.37
0,08	1.00	0.44	0.33	0.38

Tab.48 – 2M<sup>xii</sup> (B4)

razmak između valjaka [mm]	sadržaj pepela (%) <sub>sm</sub>			
	> 250 μm	250/200 μm	200/150 μm	< 150 μm
1M-0,10; 2M-0,08	1.16	0.39	0.37	0.39
1M-0,10; 2M-0,05	1.22	0.42	0.36	0.34
1M-0,08; 2M-0,05	1.27	0.41	0.36	0.35

Tab.49 – 2M<sup>xiii</sup> (B4)

razmak između valjaka [mm]	sadržaj pepela (%) <sub>sm</sub>			
	> 250 μm	250/200 μm	200/150 μm	< 150 μm
1M-0,10; 2M-0,08	1.12	0.40	0.36	0.37
1M-0,10; 2M-0,05	1.15	0.42	0.35	0.37
1M-0,08; 2M-0,05	1.17	0.43	0.35	0.38
	> 250 μm	250/200 μm	200/180 μm	< 180 μm
1M-0,10; 2M-0,08	1.08	0.42	0.35	0.38
1M-0,10; 2M-0,05	1.12	0.40	0.35	0.36
1M-0,08; 2M-0,05	1.18	0.42	0.37	0.37

Tab.50 – 5M (B5)

razmak između valjaka [mm]	sadržaj pepela (%) <sub>sm</sub>			
	> 350 μm	350/250 μm	250/150 μm	< 150 μm
0.08	4.08	3.36	1.72	0.99
0.05	4.20	3.39	1.81	1.03
0.04	4.26	3.46	1.87	1.04
0.03	4.27	3.51	1.92	1.07

Tab.51 – 6M<sup>xiv</sup> (B5)

razmak između valjaka [mm]	sadržaj pepela (%) <sub>sm</sub>			
	> 350 μm	350/250 μm	250/150 μm	< 150 μm
5M-0,08; 6M-0,05	4.31	3.53	2.10	1.45
5M-0,08; 6M-0,04	4.36	3.56	2.13	1.47
5M-0,08; 6M-0,03	4.39	3.59	2.19	1.43
5M-0,05; 6M-0,04	4.43	3.55	2.27	1.47
5M-0,05; 6M-0,03	4.46	3.55	2.24	1.40
5M-0,04; 6M-0,03	4.45	3.53	2.23	1.40

Tab.52 – 6M<sup>xv</sup> (B5)

razmak između valjaka [mm]	sadržaj pepela (%) <sub>sm</sub>			
	> 350 μm	350/250 μm	250/150 μm	< 150 μm
5M-0,08; 6M-0,05	4.14	3.55	1.90	1.14
5M-0,08; 6M-0,04	4.19	3.50	1.95	1.13
5M-0,08; 6M-0,03	4.35	3.54	1.98	1.14
5M-0,05; 6M-0,04	4.38	3.54	2.08	1.16
5M-0,05; 6M-0,03	4.41	3.56	2.07	1.19
5M-0,04; 6M-0,03	4.39	3.53	2.07	1.13
	> 350 μm	350/250 μm	250/180 μm	< 180 μm
5M-0,08; 6M-0,05	4.23	3.52	2.14	1.18
5M-0,08; 6M-0,04	4.29	3.50	2.15	1.11
5M-0,08; 6M-0,03	4.32	3.49	2.16	1.11
5M-0,05; 6M-0,04	4.36	3.56	2.21	1.20
5M-0,05; 6M-0,03	4.40	3.49	2.19	1.12
5M-0,04; 6M-0,03	4.41	3.49	2.23	1.15

## 3.8.5 Sadržaj pepela u brašnu

Tab.53 – Sadržaj pepela u brašnu nakon 2R (A1)

razmak između valjaka [mm]	sadržaj pepela u brašnu (%) <sub>sm</sub>	
	klasičan postupak	postupak sa osmovaljkom
	< 224 μm	< 224 μm
1R-0.15; 2R-0.08	0.39	0.41
1R-0.15; 2R-0.05	0.42	0.38
1R-0.15; 2R-0.04	0.41	0.39
1R-0.10; 2R-0.08	0.41	0.41
1R-0.10; 2R-0.05	0.42	0.38
1R-0.10; 2R-0.04	0.39	0.41
1R-0.08; 2R-0.05	0.41	0.38
1R-0.08; 2R-0.04	0.41	0.38

Tab.54 – Sadržaj pepela u brašnu nakon 2R (A2)

razmak između valjaka [mm]	sadržaj pepela brašnu (%) <sub>sm</sub>			
	klasičan postupak	postupak sa osmovaljkom		
	< 224 μm	< 224 μm	< 250 μm	< 265 μm
1R-0.15; 2R-0.08	0.35	0.34	0,33	0,33
1R-0.15; 2R-0.05	0.35	0.36	0,36	0,36
1R-0.10; 2R-0.08	0.34	0.34	0,34	0,35
1R-0.10; 2R-0.05	0.35	0.38	0,38	0,36

Tab.55 – Sadržaj pepela u brašnu nakon 2R (B3)

razmak između valjaka [mm]	sadržaj pepela u brašnu (%) <sub>sm</sub>				
	klasičan postupak		postupak sa osmovaljkom		
	< 132 μm	< 224 μm	< 132 μm	< 224 μm	< 250 μm
1R-0.15, 2R-0.08	0.55	0.53	0.61	0.53	0.51
1R-0.15, 2R-0.05	0.56	0.54	0.60	0.53	0.51
1R-0.15, 2R-0.04	0.56	0.53	0.65	0.55	0.53
1R-0.10, 2R-0.08	0.57	0.49	0.60	0.53	0.52
1R-0.10, 2R-0.05	0.56	0.48	0.58	0.52	0.50
1R-0.10, 2R-0.04	0.57	0.49	0.55	0.49	0.48
1R-0.08, 2R-0.05	0.57	0.49	0.54	0.50	0.48
1R-0.08, 2R-0.04	0.57	0.51	0.51	0.47	0.46

Tab.56 - Sadržaj pepela u brašnu nakon 2M (B4)

razmak između valjaka [mm]	sadržaj pepela u brašnu (%) <sub>sm</sub>			
	klasičan postupak	postupak sa osmovaljkom		
	< 150 μm	< 150 μm	< 180 μm	< 200 μm
1M-0.10; 2M-0.08	0.39	0.37	0.38	0.36
1M-0.10; 2M-0.05	0.36	0.37	0.36	0.35
1M-0.08; 2M-0.05	0.36	0.38	0.37	0.37

Tab.57 - Sadržaj pepela u brašnu nakon 6M (B5)

razmak između valjaka [mm]	sadržaj pepela u brašnu (%) <sub>sm</sub>		
	klasičan postupak	postupak sa osmovaljkom	
	< 150 μm	< 150 μm	< 180 μm
5M-0.08; 6M-0.05	1.15	1.14	1.18
5M-0.08; 6M-0.04	1.16	1.13	1.11
5M-0.08; 6M-0.03	1.15	1.14	1.11
5M-0.05; 6M-0.04	1.16	1.16	1.20
5M-0.05; 6M-0.03	1.15	1.19	1.12
5M-0.04; 6M-0.03	1.15	1.13	1.15

## 3.8.6 Specifični utrošak energije za usitnjavanje

Tab.58 – Specifični utrošak energije za usitnjavanje nakon 2R (A1)

razmak između valjaka [mm]	specifični utrošak energije [kJ/kg]	
	klasičan postupak	postupak sa osmovaljkom
	< 224 $\mu\text{m}$	< 224 $\mu\text{m}$
1R-0.15; 2R-0.08	153.2	183.5
1R-0.15; 2R-0.05	163.0	191.9
1R-0.15; 2R-0.04	161.8	186.2
1R-0.10; 2R-0.08	148.7	179.6
1R-0.10; 2R-0.05	144.7	174.2
1R-0.10; 2R-0.04	151.8	179.3
1R-0.08; 2R-0.05	139.1	167.3
1R-0.08; 2R-0.04	140.3	170.6

Tab.59 – Specifični utrošak energije za usitnjavanje nakon 2R (A2)

razmak između valjaka [mm]	specifični utrošak energije [kJ/kg]			
	klasičan postupak	postupak sa osmovaljkom		
	< 224 $\mu\text{m}$	< 224 $\mu\text{m}$	< 250 $\mu\text{m}$	< 265 $\mu\text{m}$
1R-0.15; 2R-0.08	136,3	156,8	138.8	125.0
1R-0.15; 2R-0.05	140.1	173.2	133.4	129.1
1R-0.10; 2R-0.08	129.0	168.9	146.2	129.7
1R-0.10; 2R-0.05	135.4	155.2	132.4	127.8



**Tab.60 – Specifični utrošak energije za usitnjavanje nakon 2R (B3)**

razmak između valjaka [mm]	specifični utrošak energije [kJ/kg]				
	klasičan postupak		postupak sa osmovaljkom		
	< 132 $\mu\text{m}$	< 224 $\mu\text{m}$	< 132 $\mu\text{m}$	< 224 $\mu\text{m}$	< 250 $\mu\text{m}$
1R-0.15, 2R-0.08	349.4	143.5	457.7	174.4	148.5
1R-0.15, 2R-0.05	407.4	161.9	473.5	185.8	149.9
1R-0.15, 2R-0.04	378.3	149.0	502.6	187.0	152.4
1R-0.10, 2R-0.08	370.7	154.1	431.2	177.1	150.7
1R-0.10, 2R-0.05	396.7	157.3	490.0	179.2	147.1
1R-0.10, 2R-0.04	405.2	155.2	486.1	182.5	148.3
1R-0.08, 2R-0.05	382.3	151.9	437.0	168.7	141.7
1R-0.08, 2R-0.04	380.6	146.4	467.0	172.5	139.0

**Tab.61 - Specifični utrošak energije za usitnjavanje nakon 2M (B4)**

razmak između valjaka [mm]	specifični utrošak energije [kJ/kg]			
	klasičan postupak	postupak sa osmovaljkom		
	< 150 $\mu\text{m}$	< 150 $\mu\text{m}$	< 180 $\mu\text{m}$	< 200 $\mu\text{m}$
1M-0.10; 2M-0.08	133,1	176,8	117,4	77,9
1M-0.10; 2M-0.05	130,6	174,8	114,4	83,9
1M-0.08; 2M-0.05	123,9	178,0	119,0	86,6

Tab.62 – Specifični utrošak energije za usitnjavanje nakon 6M (B5)

razmak između valjaka [mm]	specifični utrošak energije [kJ/kg]		
	klasičan postupak	postupak sa osmovaljkom	
	< 150 $\mu\text{m}$	< 150 $\mu\text{m}$	< 180 $\mu\text{m}$
5M-0.08; 6M-0.05	50,7	51,9	35,0
5M-0.08; 6M-0.04	58,1	59,3	53,1
5M-0.08; 6M-0.03	67,1	74,3	56,9
5M-0.05; 6M-0.04	64,9	77,9	61,3
5M-0.05; 6M-0.03	85,9	88,8	74,2
5M-0.04; 6M-0.03	96,0	102,8	86,7

## 4.0 DISKUSIJA REZULTATA

### 4.1 SVOJSTVA POLAZNIH UZORAKA

Kao polazni uzorci za ispitivanja su korišćeni griz i osevci, različite krupnoće i stepena čistoće, koji predstavljaju međuproizvode u tehnološkom postupku mlevenja pšenice, uzeti iz dva industrijska mlina koji se međusobno razlikuju po postupku pripreme pšenice za mlevenje, dijagramu mlevenja i parametrima usitnjavanja. Uz prethodno navedeno, uzimajući u obzir i organizaciju eksperimentalnog rada (ranije opisana), teško je međusobno porediti polazne uzorke čak i kada se radi o uzorcima uzetim iz istog mlina i sa istog mesta u tehnološkom postupku mlevenja (A1 i A2) sa obzirom da se radi o međuproizvodima dobijenim preradom pšenice različitih svojstava.

U prve dve etape, polazni uzorak (A1 i A2) je prečišćeni griz sa 9ČG krupnoće 950/710  $\mu\text{m}$ , pri čemu se na pomenutu čistilicu griza usmerava krupni griz sa II krupljenja krupnoće 1180/500  $\mu\text{m}$  (sl.18). Kod oba uzorka dominantan je udeo čestica krupnoće 850/710  $\mu\text{m}$  (>50%) ali postoji značajna razlika u udelu ostalih frakcija (tab.15). Kod A1, u poređenju sa A2, značajno je manji udeo frakcije griza krupnoće 950/850  $\mu\text{m}$ . Nasuprot tome, prinos frakcija <710  $\mu\text{m}$  primetno je veći kod A1. Kada se uzme u obzir šema čišćenja na pomenutoj čistilici griza, jasno je da je prisustvo čestica griza <710  $\mu\text{m}$  u uzorcima posledica ne dovoljne odsejanosti na sitima sa veličinom otvora sejnih tkiva od 600  $\mu\text{m}$  (32 GG) i 710  $\mu\text{m}$  (28 GG) što je daleko izraženije kod A1 u odnosu na A2. Sadržaj pepela pomenutih uzoraka (tab.14) kreće se u intervalu koji je odgovarajući za dati međuproizvod mlevenja i ukazuje da se radi o relativno čistim materijalima bez izraženijeg prisustva čestica spoljnih slojeva zrna što je svakako i cilj čišćenja griza na čistilicama. Vlaga uzoraka je zadovoljavajuća za date međuproizvode mlevenja.

U trećoj etapi kao polazni uzorak za ispitivanje (B3) korišćen je krupni griz sa II krupljenja krupnoće 1000/530  $\mu\text{m}$  (sl.19). Granulacioni sastav polaznog uzorka (tab.15), a prvenstveno srazmerno mali udeo čestica >1000  $\mu\text{m}$  i <500  $\mu\text{m}$  ukazuje da se radi o međuproizvodu mlevenja koji je dobro odsejan na planskom situ sa preovlađujućim udelom čestica u odgovarajućem intervalu krupnoće (1000/530  $\mu\text{m}$ ). Prinos pojedinih frakcija određenog intervala krupnoće je relativno ujednačen. Imajući u vidu da se radi o

neprečišćenom grizu (uzet neposredno pre ulaska u čistilicu griza) sadržaj pepela uzorka (tab.14) je odgovarajući za dati međuproizvod mlevenja. Bez obzira što su uzorci, B3 sa jedne strane i A1 i A2 sa druge strane, uzeti iz dva različita mlina, relativan odnos sadržaja pepela krupnog griza pre i nakon čišćenja na čistilici griza je odgovarajući<sup>xvi</sup>. Sadržaj vode uzorka je odgovarajući za dati međuproizvod mlevenja.

U četvrtoj etapi polazni uzorak (B4) je međuproizvod mlevenja koji se u mlinu B usmerava na 1M (sl.20). Granulacioni sastav uzorka pokazuje da se najveći deo čestica nalazi u intervalu krupnoće 350/150  $\mu\text{m}$  sa preovlađujućim udelom frakcije krupnoće 250/150  $\mu\text{m}$  (>50 %). Udeo frakcije čestica krupnoće >350  $\mu\text{m}$  kao i čestica <150  $\mu\text{m}$  je relativno mali (tab.15). Rezultati analize sejanja, pri čemu je rama sita veličine otvora od 150  $\mu\text{m}$  u slogu sita zamenjena sa ramom sita sa sejnim tkivom veličine otvora od 132  $\mu\text{m}$ , ukazuju na veoma mali sadržaj čestica <132  $\mu\text{m}$ , odnosno mali udeo brašna ukazuje na dobru odsejanost uzorka što je poželjno sa obzirom na tematiku i cilj rada. Sadržaj pepela uzorka pokazuje da se radi o dosta čistom materijalu (bez izraženijeg prisustva čestica spoljnih slojeva zrna) i odgovarajući je za dati međuproizvod mlevenja. Sadržaj vode uzorka takođe je na zadovoljavajućem nivou za dati međuproizvod mlevenja (tab.14).

Granulacioni sastav polaznog uzorka u petoj etapi (B5), a pre svega visok udeo brašna (<150  $\mu\text{m}$ ) ukazuje na nedovoljnu odsejanost materijala koji se upućuje na prolazište 5M u industrijskom mlinu B (sl.21). Analiza sejanja, pri čemu je i ovde isto kao u četvrtoj etapi rama sita sa sejnim tkivom veličine otvora od 150  $\mu\text{m}$  zamenjena sa ramom sita sa sejnim tkivom veličine otvora od 132  $\mu\text{m}$ , pokazala je, sa obzirom na mali udeo čestica <132  $\mu\text{m}$  (tab.15), da se najveći deo ovih čestica nalazi u intervalu veličina 150/132  $\mu\text{m}$ . Nedovoljnu odsejanost potvrđuje i prilično nizak sadržaj pepela (2.22 (%)<sub>sm</sub>) za dati međuproizvod mlevenja imajući u vidu da se radi o materijalu koji se u navedenom mlinu upućuje na predposlednje prolazište mlevenja griza i osevaka (tab.14). Sadržaj vode uzorka je na zadovoljavajućem nivou za dati međuproizvod mlevenja.

Sadržaj pepela u uzorku B3, a pogotovo uzorku B5, je osetno veći od sadržaja pepela u uzorcima A1, A2 i B4 što će imati uticaja na sadržaj pepela u međuproizvodima i brašnu bez obzira na primenjeni postupak mlevenja.

---

<sup>xvi</sup> Na bazi iznetih podataka ne može dati ocena efikasnosti čišćenja griza što principijelno nije imalo uticaja na cilj rada

## 4.2 ANALIZA GRANULACIONOG SASTAVA MLIVA

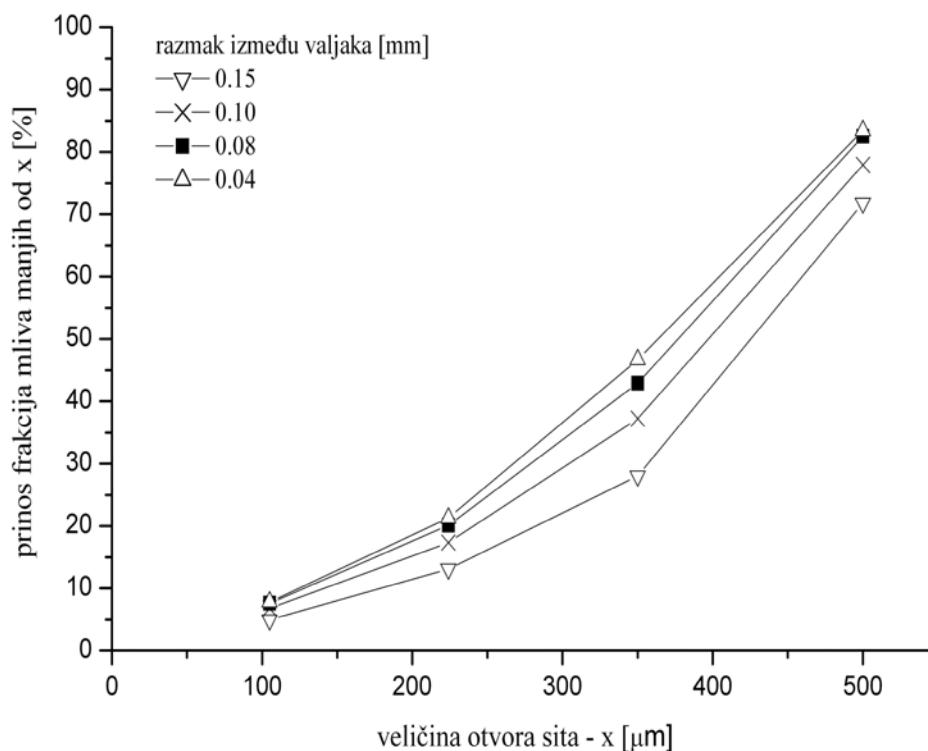
Za ocenu efektivnosti tehnološkog postupka mlevenja pšenice u praksi se često kao kvantitativni pokazatelj koristi granulacioni sastav mliva. Kada se ima u vidu priroda usitnjavanog materijala i zahtevi koji se postavljaju kod prolazišta u fazi mlevenja griza i osevaka, prinos brašna je najpouzdaniji kvantitativni pokazatelj efekata usitnjavanja.

Takođe je od velikog praktičnog značaja i poznavanje uticaja razmaka između valjaka na efekte (učinak) mlevenja sa obzirom da je to, pri današnjoj konstrukciji mlinskih valjaka, još uvek jedini operativni parametar usitnjavanja u pogonskim uslovima koji se može podešavati u širokom rasponu tokom rada mlina. Vođenje valjaka i kontrola njihovog rada zasniva se na tesnoj zavisnosti razmaka između valjaka i prinosa izvoda na čemu se, u savremenim mlinskim pogonima, i zasniva potpuno kompjuterizovano vođenje valjaka, odnosno podešavanje razmaka valjaka u zavisnosti od svojstava pšenice (formirane mlevne smeše) i očekivanih rezultata mlevenja (prinos, asortiman i kvalitet finalnih proizvoda).

### 4.2.1 1R (A1)

Analizom granulacionog sastava mliva 1R (A1) zapaža se pravilnost promene ovog pokazatelja pri promeni razmaka između valjaka. Pomenuta pravilnost promene se odnosi na sve frakcije mliva. Uočava se porast prinosa brašna sa smanjenjem razmaka između valjaka pri čemu je porast prinosa krupnije frakcije brašna (224/105  $\mu\text{m}$ ) nešto izraženiji u odnosu na porast prinosa sitnije frakcije brašna (<105  $\mu\text{m}$ ). Takođe raste i prinos sitnog griza-frakcija mliva 350/224  $\mu\text{m}$ , dok prinos krupnijih frakcija mliva opada sa smanjenjem razmaka između valjaka pri čemu je pad prinosa najkrupnije frakcije mliva (>500  $\mu\text{m}$ ) nešto izraženiji (tab.16; sl.25).

Ispitivanja većeg broja autora [12,67,72,83,98,99,101], kao i naša prethodna ispitivanja [100], takođe pokazuju da odnos između krupnoće čestica koje se usitnjavaju i razmaka između valjaka presudno utiče na stepen usitnjavanja, a pored kvantitativnih ima značajnog uticaja i na kvalitativne i energetske pokazatelje efekata usitnjavanja.



**Sl.25 - Kumulativne krive granulacionog sastava mliva 1R (A1) pri različitim razmacima između valjaka**

Porast, odnosno smanjenje prinosa pojedinih frakcija mliva pri smanjenju razmaka između valjaka može se objasniti povećanjem dužine puta usitnjavanja i promenom odnosa sila deformacije u mlevnom prostoru. Za usitnjavanje uzoraka korišćeni su glatki valjci, tako da pri prenosnom odnosu koji je primenjen – 1.25 (uobičajen za ovu fazu tehnološkog postupka mlevenja) u mlevnom prostoru preovlađuju sile deformacije sabijanja. Pri istim ostalim parametrima usitnjavanja, sa smanjenjem razmaka između valjaka menja se odnos sila sabijanja i smicanja u mlevnom prostoru u korist sila sabijanja, što doprinosi povećanom stepenu usitnjavanja endosperma kao tipično drobitivog tela. Nasuprot tome, delići klice i omotača kao izrazito plastična tela (ukoliko imaju odgovarajući nivo vlažnosti), usitnjavaju se u daleko manjoj meri od endosperma. Takođe, sa smanjenjem razmaka između valjaka povećava se i dužina mlevnog prostora (dužina puta usitnjavanja), a time i vremenski period u kome su čestice izložene dejstvu sila deformacije, što takođe

doprinosi većem stepenu usitnjavanja endosperma. Rezultat toga je povećanje prinosa sitnijih frakcija mliva, a posebno brašna, i komplementarno smanjenje prinosa krupnijih frakcija mliva.

Utvrđenu zavisnost prinosa brašna od razmaka između valjaka pri usitnjavanju griza glatkim valjcima navode i Scanlon i sar. [96]. Ovde je bitno naglasiti da je utvrđen odgovarajući trend promene prinosa brašna sa promenom razmaka između valjaka sa tim da nije moguće kvantitativno porediti ostvarene prinose brašna kako zbog razlika u polaznom materijalu koji je usitnjavao tako i zbog različitih eksperimentalnih uslova rada (primenjenih parametara usitnjavanja, činjenice da je analiza sejanja rađena na znatno drugačijem slogu sita i dr).

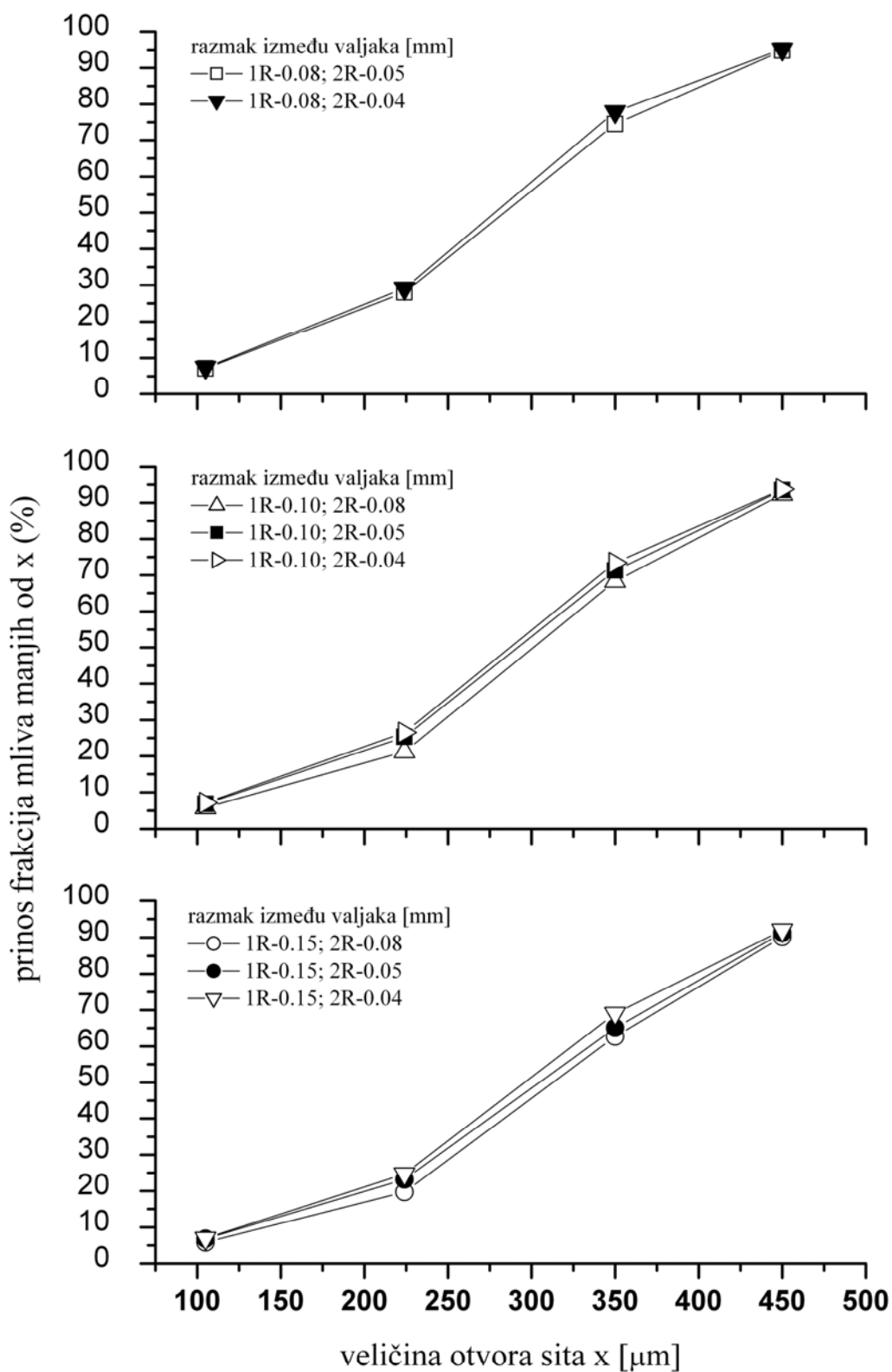
Prinos brašna veoma zavisi od razmaka između valjaka i svakako da je racionalno vođenje valjaka od velikog značaja za ekonomičnost rada u mlinu pre svega sa aspekta smanjenja kruženja mliva u tehnološkom postupku (što bitno utiče na smanjenje specifičnog utroška energije pri mlevenju pšenice, a što se danas sve oštrije postavlja) sa tim da se prinos brašna mora uskladiti sa kvalitativnim pokazateljima brašna. Naravno da se nesmeju zanemariti ni kvalitativni pokazatelji međuproizvoda mlevenja odnosno postoji naglašena potreba za iznalaženjem tzv. kompromisnog optimuma.

Sve izraženijim skraćanjem dužine mlevnog toka, u cilju racionalizacije tehnološkog postupka mlevenja, odnosno smanjenjem broja prolazišta mlevenja, prestaje izražena diferencijacija između prolazišta rastvaranja i mlevenja griza, tako da se već na prvim prolazištima u fazi mlevenja griza i osevaka, pored redukcije krupnoće griza, mora ostvariti i odgovarajući prinos brašna.

#### **4.2.2 2R (A1)**

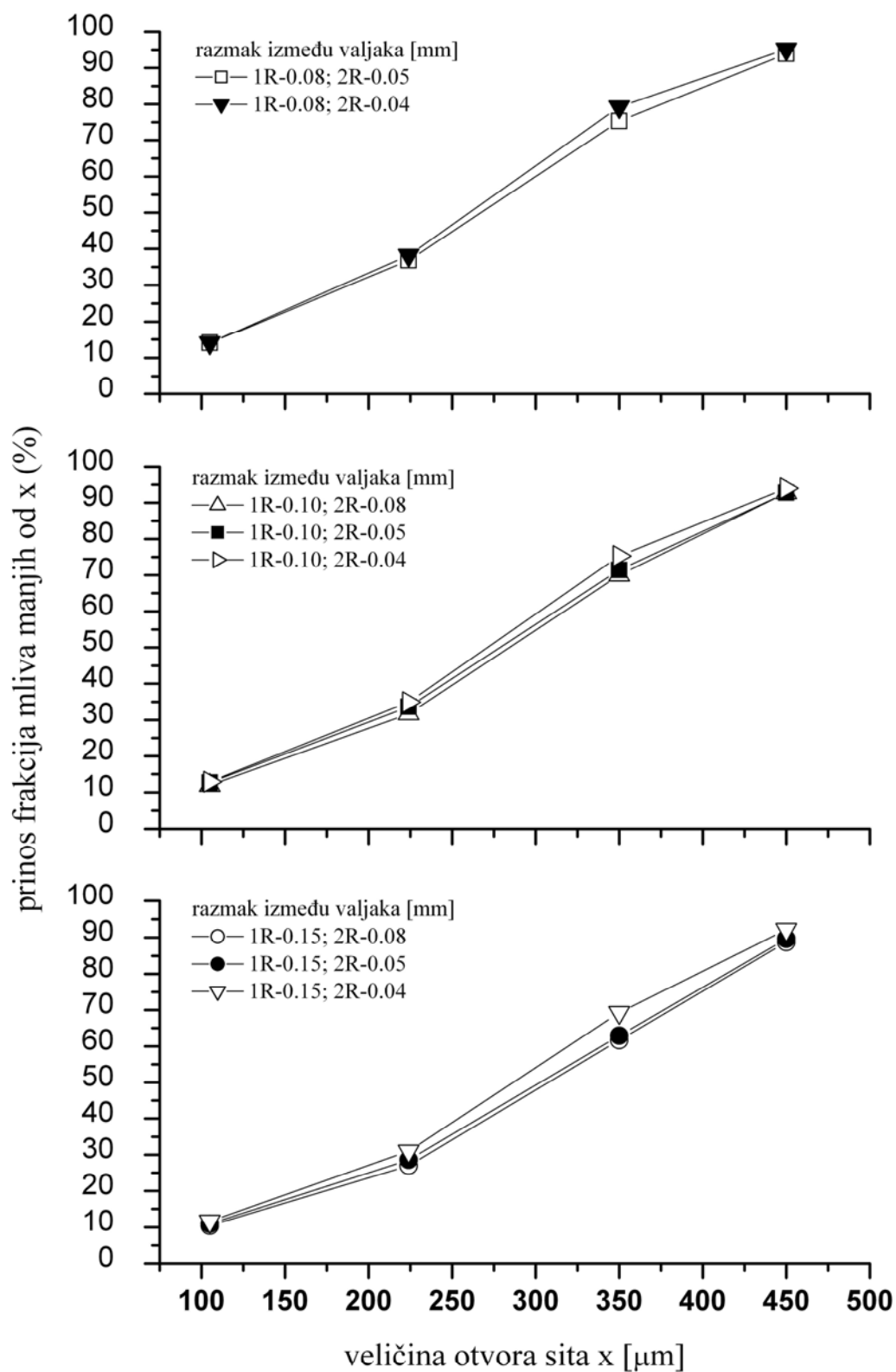
Pri simulaciji uslova usitnjavanja u klasičnom postupku deo mliva sa 1R ( $>224 \mu\text{m}$ ) koji preostaje nakon odsejavanja (izdvajanja) brašna, je vođen na 2R. Pri simulaciji uslova usitnjavanja u postupku sa osmovaljnom stolicom, celokupna masa mliva sa 1R je bez prosejavanja i izdvajanja brašna vođena na 2R.

U oba ispitivana postupka zapaža se slična pravilnost promene granulacionog sastava mliva 2R sa smanjenjem razmaka između valjaka (tab.17-18, sl.26-27).



Sl.26 - Kumulativne krive granulacionog sastava mliva 2R (A1) pri različitim razmacima između valjaka u klasičnom postupku





**Sl.27 - Kumulativne krive granulacionog sastava mliva 2R (A1) pri različitim razmacima između valjaka u postupku sa osmovaljnom stolicom**

Treba istaći da su prikazane kumulativne krive granulacionog sastava mliva date u odnosu na polaznu masu materijala na 2R koja je različita u ispitivanim postupcima. Iz ovog razloga one ne mogu poslužiti za međusobno poređenje prinosa frakcija mliva istog intervala krupnoće dobijenih u ispitivanim postupcima, već ilustruju opšte trendove promene granulacionog sastava mliva sa smanjenjem razmaka između valjaka. Primetno je da prinos dve najkrupnije frakcije mliva opada, prinos sitnog griza (350/224  $\mu\text{m}$ ) ne pokazuje jednoznačan trend promene i relativno je ujednačen, dok je prinos brašna u porastu što je, pre svega, posledica porasta prinosa krupnije frakcije brašna (224/105  $\mu\text{m}$ ), dok se prinos sitnije frakcije brašna (<105  $\mu\text{m}$ ) vrlo blago povećava. Zanimljivo je primetiti da se pri jednakom razmaku između valjaka 2R veći prinos brašna na pomenutom prolazištu ostvaruje usitnjavanjem materijala dobijenog pri nižem vođenju valjaka 1R.

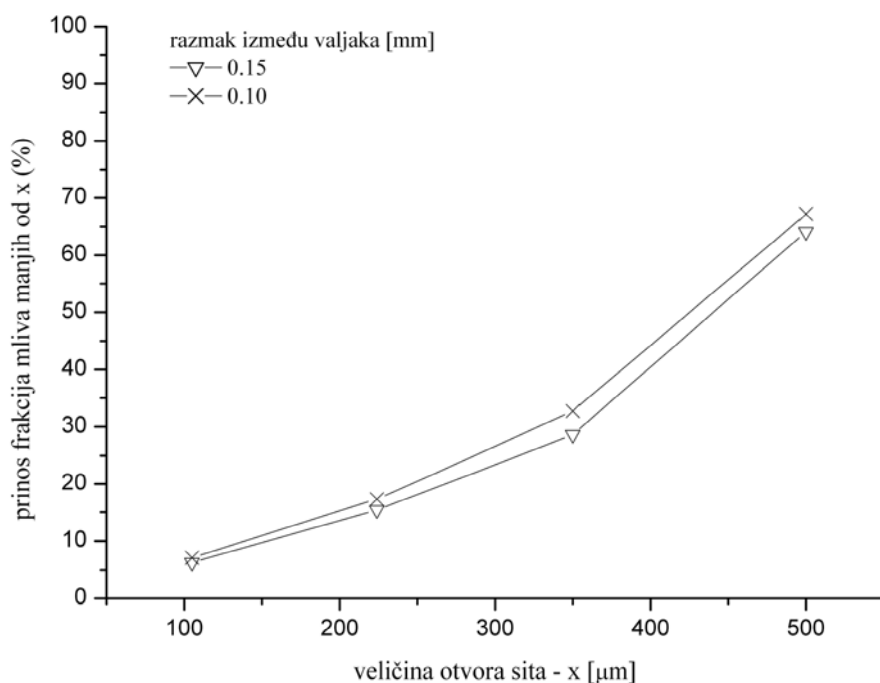
Trend promene granulacionog sastava mliva 2R sa smanjenjem razmaka između valjaka vrlo je sličan trendu promene ovog pokazatelja na 1R i može se objasniti na isti način (porast intenziteta i udela sila deformacije sabijanja u mlevnom prostoru i povećanje dužine puta usitnjavanja) u skladu sa prethodno datom analizom na 1R.

Rezultati pokazuju da pri mlevenju krupnog griza, prečišćenog na čistilici griza, ne postoji razlika u opštem trendu promene granulacionog sastava mliva sa promenom razmaka između valjaka u klasičnom i postupku sa osmovaljnom stolicom. Uzimajući u obzir da je prinos brašna najpouzdaniji kvantitativni pokazatelj efektivnosti usitnjavanja griza i osevaka, kasnije u diskusiji detaljnije će se razmotriti i uporediti prinos brašna ostvaren u ispitivanim postupcima.

#### 4.2.3 1R (A2)

Interval variranja razmaka između valjaka pri usitnjavanju uzorka A2 je uži u odnosu na interval variranja ovog parametra usitnjavanja kod A1. I pored toga primetno je da granulacioni sastav mliva 1R (tab.19; sl.28), pri smanjenju razmaka između valjaka pokazuje trend promene koji je identičan sa trendom promene ovog pokazatelja kod A1. Ovo je i očekivano sa obzirom da su pomenuti uzorci, i pored izvesnih razlika u krupnoći čestica, uzeti sa istog mesta u tehnološkom postupku mlevenja u mlinu A. Kao i kod A1, sa smanjenjem razmaka između valjaka povećava se prinos brašna i sitnog griza, i komplementarno tome smanjuje se prinos krupnijih frakcija mliva što se objašnjava analizom datom kod A1. Pri istom razmaku između valjaka, granulacioni sastav mliva

dobijen usitnjavanjem A1 i A2 relativno je sličan po prinosu sitnijih frakcija mliva (brašno i sitni griz), a izraženije razlike postoje u prinosu krupnijih frakcija mliva. Kinematički parametri usitnjavanja su održavani konstantnim čitavim tokom eksperimentalnog rada, a parametri hranilice i specifično opterećenje valjaka kod usitnjavanja A1 i A2 takođe su isti (tab.10). Praktično, kada je i razmak između valjaka isti, A1 i A2 su usitnjavani pri identičnim parametrima usitnjavanja, a shodno tome i intenzitet i karakter sila deformacije u mlevnom prostoru je isti, tako da su razlike u granulacionom sastavu mliva, odnosno prinosu pojedinih frakcija mliva, izvesno posledica razlike u strukturno-mehaničkim svojstvima i krupnoći datih uzoraka.

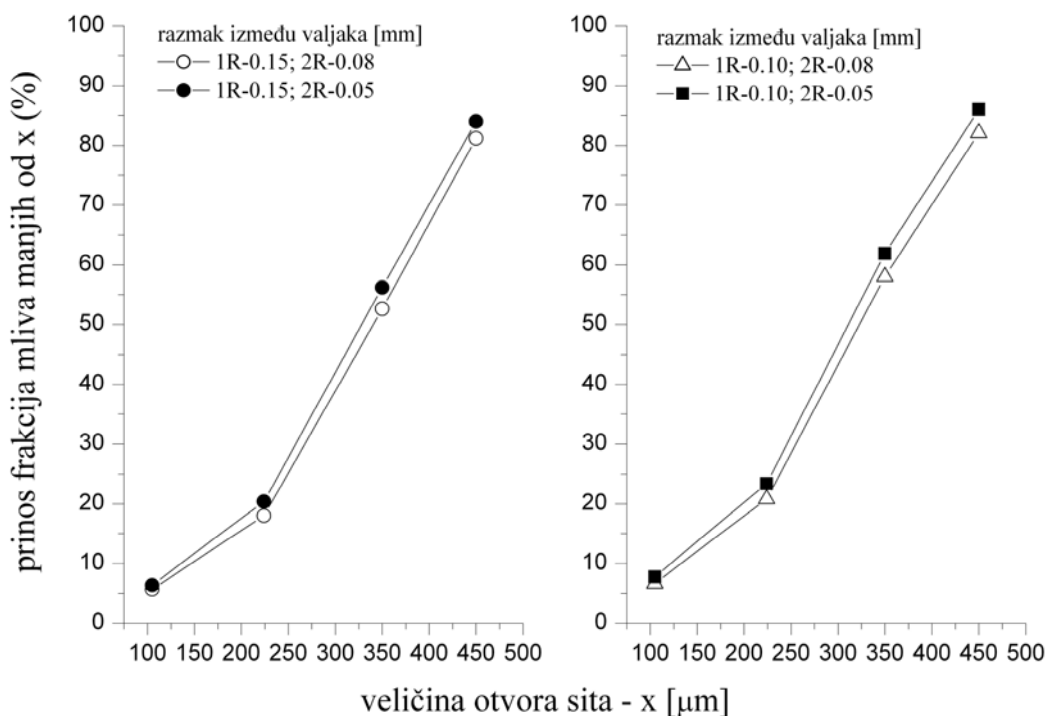


**Sl.28 - Kumulativne krive granulacionog sastava mliva 1R (A2) pri različitim razmacima između valjaka**

#### 4.2.4 2R (A2)

U ispitivanim postupcima zapaža se slična pravilnost promene granulacionog sastava mliva 2R sa smanjenjem razmaka između valjaka (tab.20-21, sl.29-30) koja je vrlo bliska trendu promene ovog pokazatelja kod A1 što je svakako i očekivano sa obzirom na slična svojstva ovih uzoraka. Kao i kod 1R, pri istim uslovima usitnjavanja, postoje izvesne razlike u prinosu pojedinih frakcija mliva, ali je trend porasta prinosa brašna i

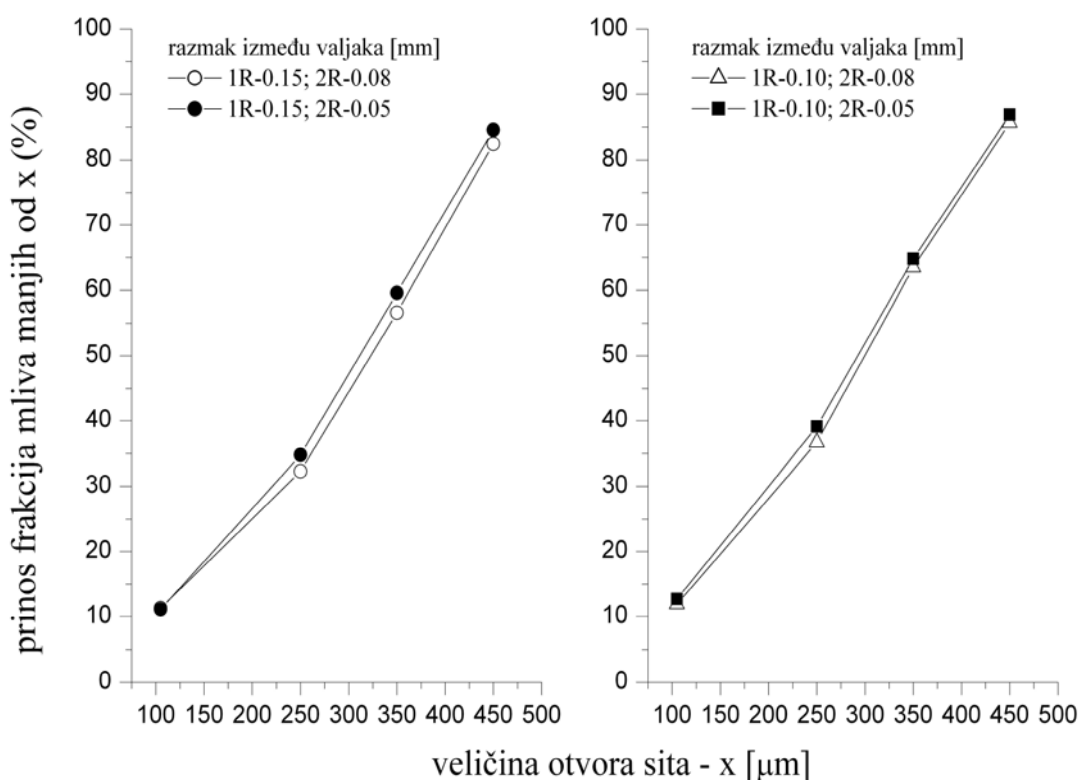
sitnog griza i komplementarnog smanjenja prinosa krupnijih frakcija mliva sa smanjenjem razmaka između valjaka prisutan i ovde. Takođe, kao i kod A1, porast prinosa brašna sa smanjenjem razmaka između valjaka posledica je povećanja prinosa krupnije frakcije brašna, dok je prinos sitnije frakcije brašna relativno ujednačen ili u vrlo blagom porastu.



**SI.29 - Kumulativne krive granulacionog sastava mliva 2R (A2) pri različitim razmacima između valjaka u klasičnom postupku**

U prvoj etapi (A1), pri simulaciji uslova usitnjavanja u postupku sa osmovaljnom stolicom, vizuelnim pregledom frakcija mliva, primećeno je da određena masa brašna zaostaje u frakciji mliva krupnoće 350/224  $\mu\text{m}$  odnosno da postoji problem ne dovoljne odsejanosti brašna. Pomenuto zapažanje potvrđeno je vizuelnim pregledom frakcija mliva 2R u postupku sa osmovaljnom stolicom u drugoj etapi (A2). Ovo je ukazalo na potrebu izvesnih korekcija u delu prosejavanja mliva u postupku sa osmovaljnom stolicom što je, počevši od druge etape pa nadalje, realizovano povećanjem veličine otvora sejnog tkiva sita u slogu na kome se odsejava brašno. Detaljnija razmatranja o uzrocima i načinima za prevazilaženje ne dovoljne odsejanosti brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom daće se kasnije u delu diskusije koji se bavi uporednom analizom prinosa brašna u ispitivanim postupcima. Koraci preduzeti u cilju poboljšanja odsejavanja brašna moraju se uskladiti sa kvalitativnim pokazateljima koji ne smeju izaći iz tolerantnih okvira.

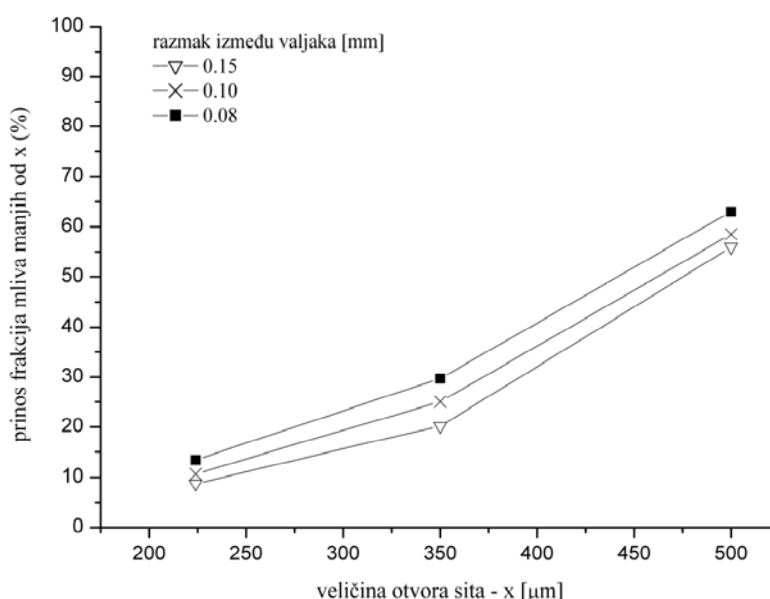
Konkretno što se tiče uzorka A2, pored varijante sloga sa ramom sita sa veličinom otvora sejnog tkiva od 224  $\mu\text{m}$  koje je primenjeno u oba ispitivana postupka, u postupku sa osmovaljnom stolicom obavljena su ispitivanja sa još dve varijante sloga sita gde je pomenuta rama sita od 224  $\mu\text{m}$  zamenjena sa ramama sita sa veličinom otvora sejnih tkiva od 250  $\mu\text{m}$  i 265  $\mu\text{m}$ . Ove korekcije nisu imale uticaja na trend promene granulacionog sastava mliva sa smanjenjem razmaka između valjaka što ilustruju kumulativne krive (sl.30) koje prikazuju rezultate dobijene pri varijanti sloga sa ramom sita od 250  $\mu\text{m}$ , a isti trendovi prisutni su i u varijantama sloga sa ramama sita od 224  $\mu\text{m}$  i 265  $\mu\text{m}$ . I ovde, sa obzirom na različitu polaznu masu materijala na 2R u ispitivanim postupcima, prinosi frakcija mliva istog intervala krupnoće nemogu se međusobno porediti, a prikazane kumulativne krive ilustruju opšte trendove promene granulacionog sastava mliva sa smanjenjem razmaka između valjaka.



**Sl.30 - Kumulativne krive granulacionog sastava mliva 2R (A2) pri različitim razmacima između valjaka u postupku sa osmovaljnom stolicom**

#### 4.2.5 1R (B3)

U uzorku krupnog griza sa II krupljenja - B3, uzetog neposredno pre ulaska u odgovarajuću čistilicu griza, prisutan je relativno veći udeo čestica spoljašnjih slojeva zrna u odnosu na uzorke krupnog griza A1 i A2 očišćenih na čistilici griza (uglavnom su prisutne čestice poreklom iz endosperma zrna). I pored toga, granulacioni sastav mliva 1R, dobijen usitnjavanjem B3 (tab.22; sl.31), pokazuje isti trend promene pri smanjenju razmaka između valjaka kao i kod A1 i A2.

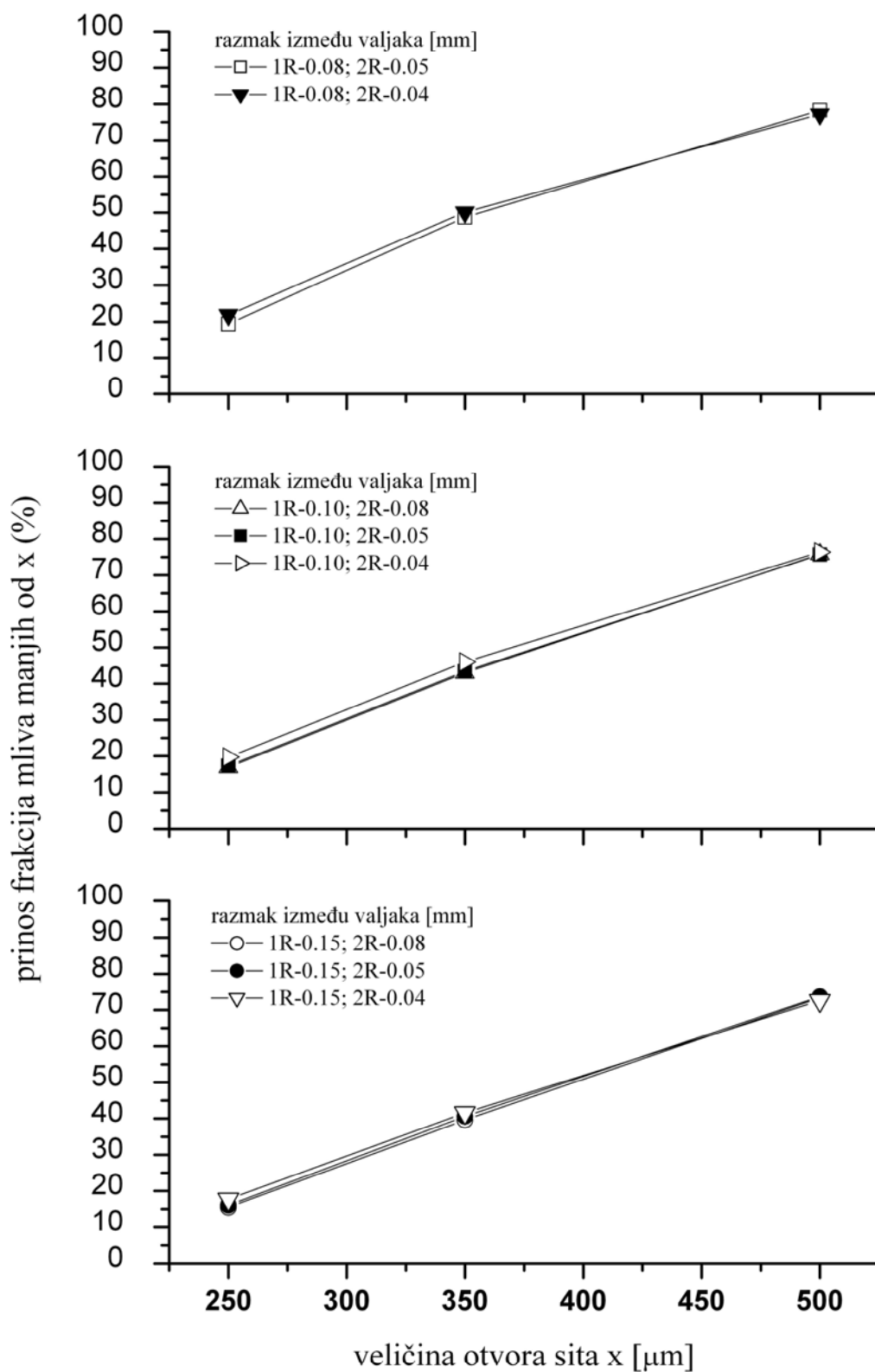


**Sl.31 - Kumulativne krive granulacionog sastava mliva 1R (B3) pri različitim razmacima između valjaka**

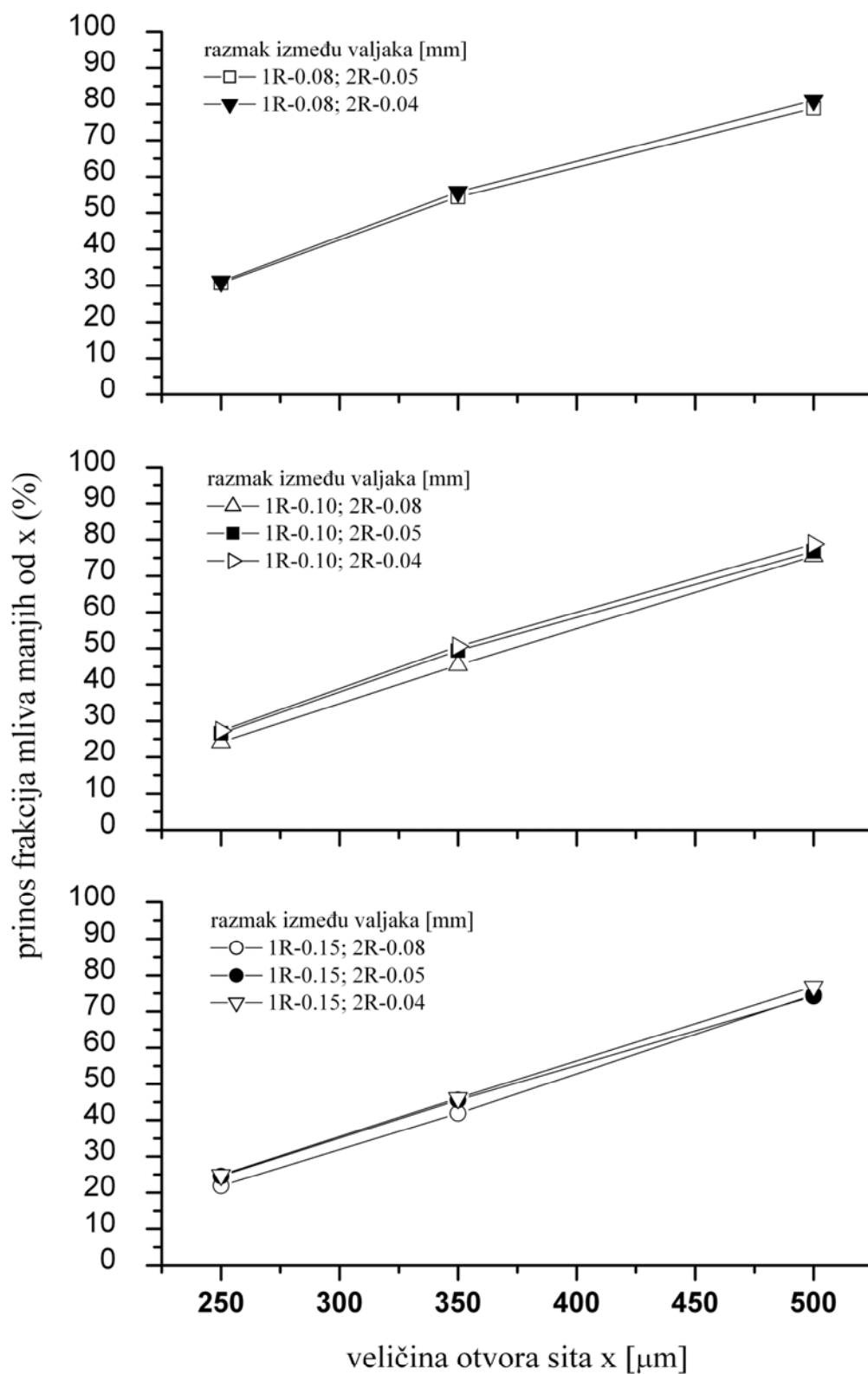
Primetan je rast prinosa sitnijih frakcija mliva (brašno i sitni griz) i komplementaran pad prinosa krupnijih frakcija mliva pri čemu je ova promena znatno izraženija kod najkrupnije frakcije mliva (>500 μm). Promena prinosa frakcija mliva sa smanjenjem razmaka između valjaka posledica su promene odnosa sila deformacije u mlevnom prostoru u skladu sa prethodno datim analizama.

#### 4.2.6 2R (B3)

U ispitivanim postupcima zapaža se slična pravilnost promene granulacionog sastava mliva 2R sa smanjenjem razmaka između valjaka (tab.23-24, sl.32-33).



Sl.32 - Kumulativne krive granulacionog sastava mliva 2R (B3) pri različitim razmacima između valjaka u klasičnom postupku



Sl.33 - Kumulativne krive granulacionog sastava mliva 2R (B3) pri različitim razmacima između valjaka u postupku sa osmovaljnom stolicom



Bez obzira na različita svojstva uzorka B3 (ne prečišćen griz) trend promene ovog pokazatelja je isti kao kod prethodno razmatranih uzoraka prečišćenog krupnog griza i blizak trendu registrovanom na 1R. Promene prinosa frakcija mliva sa smanjenjem razmaka između valjaka posledica su promene odnosa sila deformacije u mlevnom prostoru i dužine puta usitnjavanja u skladu sa prethodno datim analizama.

Ipak promena prinosa pojedinih frakcija mliva je izraženija na 1R u odnosu na 2R pogotovo pri simulaciji uslova usitnjavanja u klasičnom postupku. Ovo je svakako delom posledica činjenice da je polazni uzorak za usitnjavanje neprečišćeni griz što uslovljava povećano prisustvo čestica poreklom iz spoljašnjih slojeva zrna. Pomenute čestice na sebe preuzimaju deo sila deformacije u mlevnom prostoru, ali sa obzirom da imaju izražena plastična svojstva, pri datom odnosu sila deformacije ne dolazi do njihovog efikasnog usitnjavanja. Usitnjavanjem na 1R pri datim parametrima, i u klasičnom postupku izdvajanjem određene mase brašna prosejavanjem, u prelazu koji je vođen na 2R povećava se maseni udeo čestica iz spoljašnjih slojeva zrna, a time i deo sila deformacije koji ove čestice preuzimaju na sebe. Ovo za rezultat ima slabije izraženu promenu prinosa pojedinih frakcija mliva na 2R u odnosu na 1R.

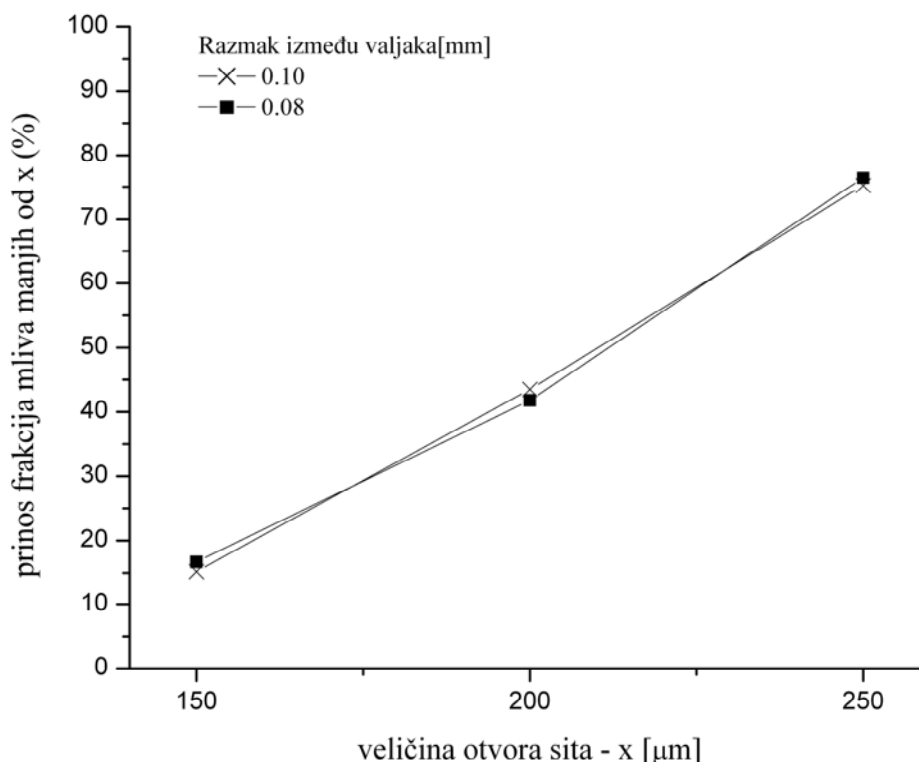
Kumulativne krive (sl.32-33) pokazuju da i pri mlevenju ne prečišćenog krupnog griza, ne postoji značajnija razlika u opštem trendu promene granulacionog sastava mliva sa smanjenjem razmaka između valjaka u klasičnom i postupku sa osmovaljnom stolicom. I ovde se, zbog različite polazne mase uzorka na 2R u ispitivanim postupcima, prinosi frakcija mliva istog intervala krupnoće ne mogu kvantitativno porediti. Kasnije u diskusiji daće se, za sve etape, uporedna analiza ukupnog prinosa brašna nakon dva prolazišta mlevenja u oba ispitivana postupka kao najboljeg kvantitativnog pokazatelja efektivnosti mlevenja griza i osevaka.

#### **4.2.7 1M**

Za svaku etapu definisani su interval variranja razmaka između valjaka, specifično opterećenje valjaka i veličina otvora sejnih tkiva u slogu sita koji su u skladu sa postojećim iskustvima u industrijskoj i istraživačkoj praksi. Takođe se moralo voditi računa i o relativnom odnosu pomenutih parametara po etapama istraživanja, odnosno prolazištima mlevenja. U prve tri etape polazni uzorak je krupni griz koji se, bez obzira da li se radi o prečišćenom ili ne prečišćenom na čistilici griza, u datim mlinovima upućuje na 1R, ili bi se u odsustvu čistilice griza upućivali na 1R i u skladu sa tim, i raspoloživim dimenzijama

lisnatih merila i veličine otvora sejnih tkiva, odabran je interval variranja razmaka između valjaka i veličina otvora sejnih tkiva u slogu. Uzimajući u obzir relativan odnos prema odabranim parametrima u prve tri etape, dimenzije lisnatih merila i sejnih tkiva i činjenicu da se u ovoj etapi takođe radi sa grizastim materijalom ali značajno sitnijim nego u prethodnim etapama, odabrani su odgovarajući parametri što je uslovalo ispitivanja pri samo dva razmaka između valjaka na 1M. Takođe i veličina otvora sejnih tkiva sita u slogu, a time i sita za odsejavanje brašna ( $150\ \mu\text{m}$ ) je odabrana u skladu sa prethodnim obrazloženjima i krupnoćom polaznog uzorka.

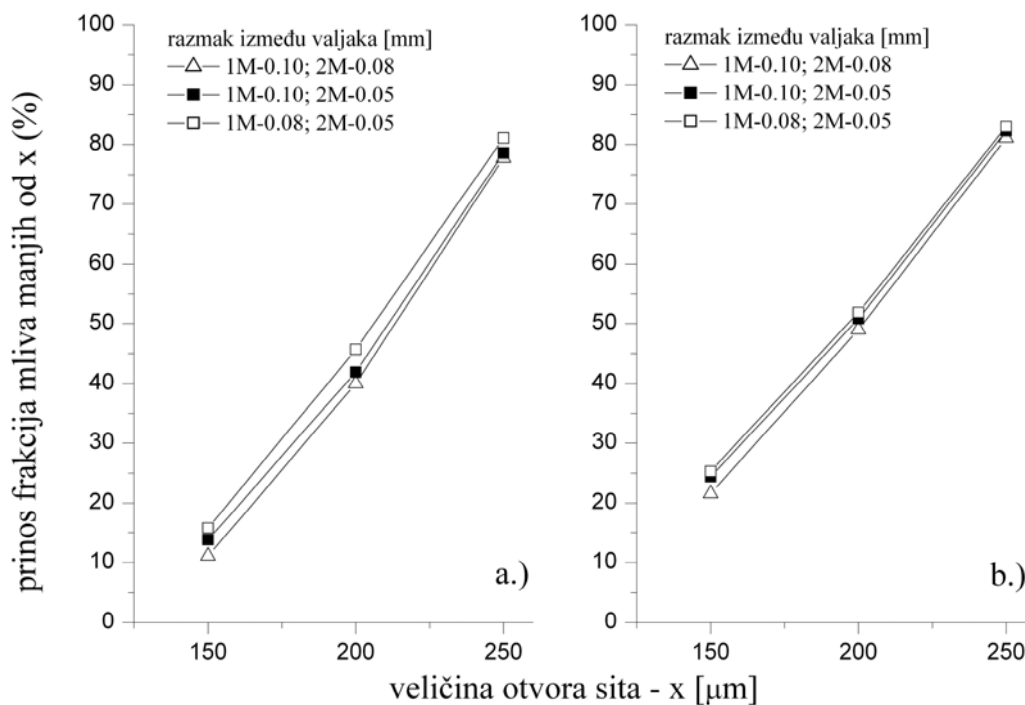
Ako se ima u vidu da je na 1M usitnjavanje realizovano pri samo dva razmaka između valjaka teško je govoriti o trendu promene granulacionog sastava mliva sa promenom razmaka između valjaka. Ipak, može se uočiti (tab.25; sl.34) da je, kao i u prethodnim etapama istraživanja, pri nižem vođenju valjaka ostvaren nešto veći prinos brašna što je i očekivano sa obzirom na svojstva uzorka i date uslove usitnjavanja.



**Sl.34 - Kumulativne krive granulacionog sastava mliva 1M pri različitim razmacima između valjaka**

#### 4.2.8 2M

U ispitivanim postupcima zapaža se ista pravilnost promene granulacionog sastava mliva 2M sa smanjenjem razmaka između valjaka koju prati porast prinosa brašna (<150  $\mu\text{m}$ ), pad prinosa krupnijih frakcija mliva (>250  $\mu\text{m}$  i 250/200  $\mu\text{m}$ ), dok kod frakcije mliva 200/150  $\mu\text{m}$  ne postoji jednoznačan trend promene prinosa (tab.26-27; sl.35).

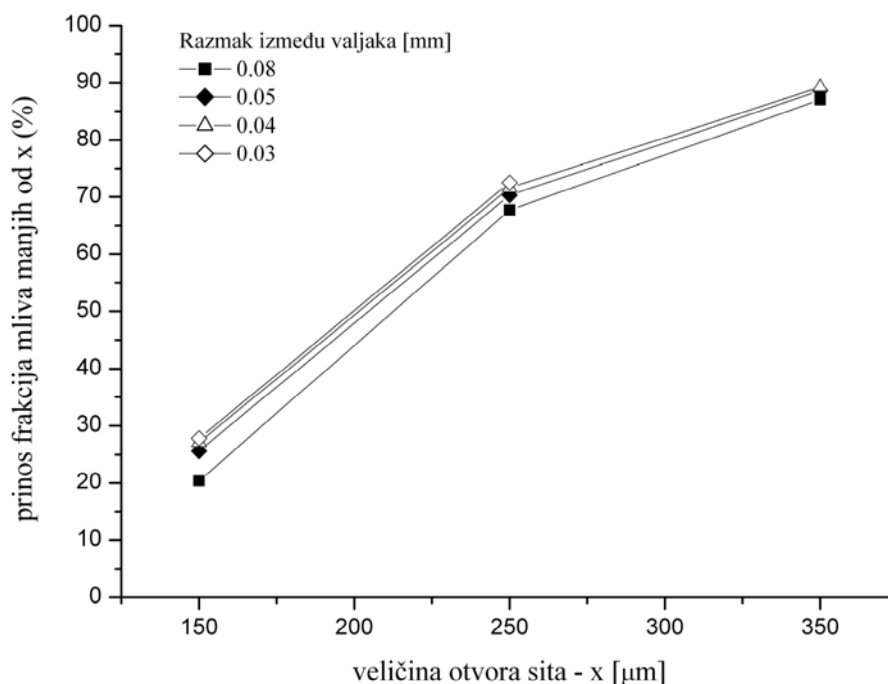


**Sl.35 - Kumulativne krive granulacionog sastava mliva 2M pri različitim razmacima između valjaka u a.) klasičnom postupku i b.) postupku sa osmovaljnom stolicom**

U postupku sa osmovaljnom stolicom, pomenuti trend promene granulacionog sastava mliva sa smanjenjem razmaka između valjaka, je isti bez obzira da li je za odsejavanje brašna u slogu sita za prosejavanje mliva 2M korišćena rama sita sa veličinom otvora sejnog tkiva od 150  $\mu\text{m}$  ili 180  $\mu\text{m}$  (nije grafički prikazano). Pri istom vođenju valjaka na 1M i 2M primetno veći prinos brašna ostvaruje se pri korišćenju sejnog tkiva od 180  $\mu\text{m}$  nego 150  $\mu\text{m}$  što je i očekivano jer se time povećava gornja granica krupnoće čestica brašna ali i pospešuje odsejavanje čestica brašna dimenzija <150  $\mu\text{m}$ , a koje usled već prethodno pomenutog problema ne dovoljne odsejanosti zaostaju u krupnijim frakcijama mliva. Pomenuti trendovi poklapaju se sa trendovima uočenim kod prethodnih uzoraka i, shodno tome, i objašnjavaju se na isti način.

#### 4.2.9 5M

Analizom granulacionog sastava mliva 5M sa smanjenjem razmaka između valjaka zapaža se određena pravilnost promene koja je vrlo bliska trendovima promene ovog pokazatelja u prethodnim etapama. Sličan trend promene pokazuje da se i na ovom prolazištu mlevenja sa smanjenjem razmaka između valjaka odnos sila deformacije u mlevnom prostoru menja u skladu sa prethodno datim analizama. Prinos brašna je u porastu, pri čemu je ova promena daleko izraženija pri smanjenju razmaka između valjaka sa 0.08 mm na 0.05 mm, dok je dalje smanjenje razmaka valjaka praćeno relativno blagim rastom prinosa brašna. Prinos ostalih frakcija mliva blago opada sa smanjenjem razmaka između valjaka (tab.28; sl.36).

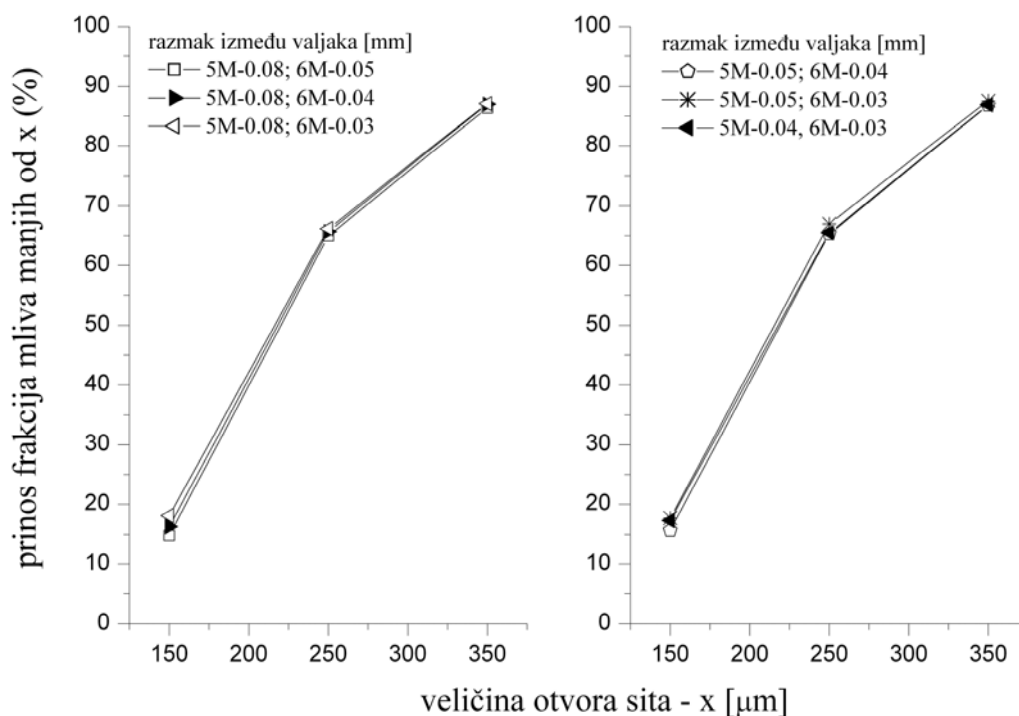


**Sl.36 - Kumulativne krive granulacionog sastava mliva 5M pri različitim razmacima između valjaka**

#### 4.2.10 6M

U oba ispitivana postupka prinos brašna blago se povećava sa smanjenjem razmaka između valjaka na 6M. U klasičnom postupku prinos ostalih frakcija mliva blago opada, dok u postupku sa osmovaljnom stolicom nije registrovan jednoznačan trend sa tim da je

promena, ukoliko postoji, mala bez obzira da li se radi o povećanju ili smanjenju prinosa pomenutih frakcija (tab.29-30, sl.37-38).

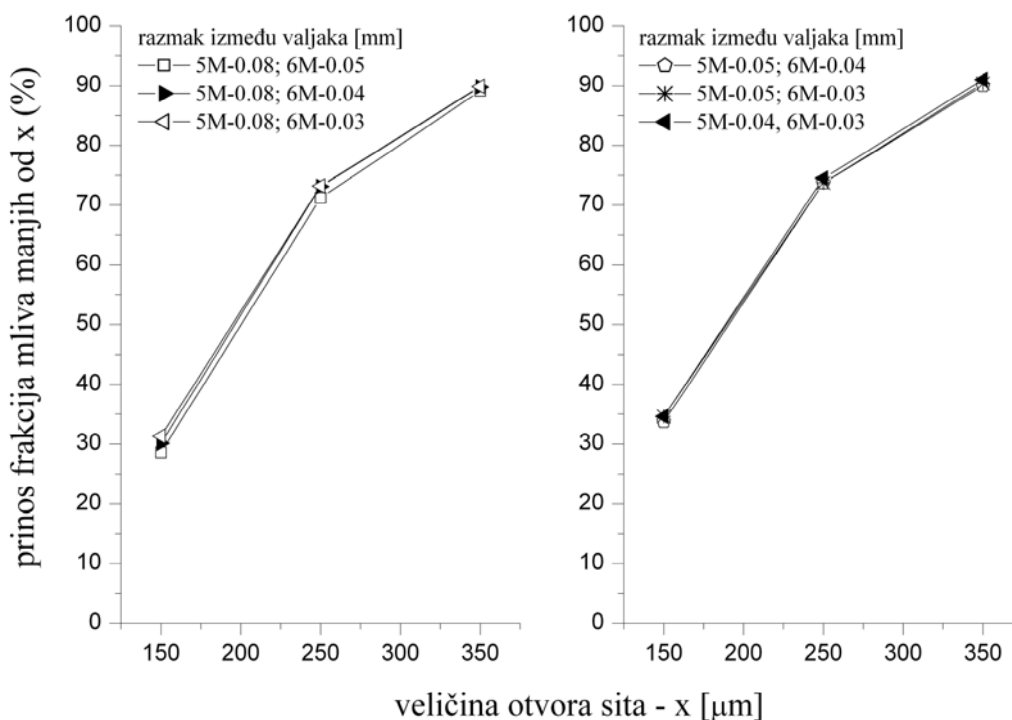


**Sl.37 - Kumulativne krive granulacionog sastava mliva 6M pri različitim razmacima između valjaka u klasičnom postupku**

U klasičnom postupku, pri istom razmaku između valjaka na 6M, ostvaruje se veći prinos brašna na pomenutom prolazištu mlevenja pri višljem vođenju valjaka na 5M. Pri odabranim parametrima usitnjavanja, čestice endosperma usitnjavaju se u daleko većoj meri nego delići omotača i klice tako da veći razmak između valjaka na 5M za posledicu ima manji stepen usitnjavanja što se pre svega odnosi na prisutne čestice endosperma, odnosno u materijalu koji dolazi na valjke 6M nešto je veći sadržaj endosperma ukoliko je višlje vođenje valjaka na 5M. Pri datim parametrima usitnjavanja, u mlevnom prostoru dominiraju sile deformacije sabijanja pri kojima dolazi do efikasnog usitnjavanja endosperma (ne i drugih anatomskih delova zrna) što za posledicu ima veći prinos brašna na 6M kada je u materijalu koji dolazi na pomenuto prolazište veći udeo endosperma.

Pri istom vođenju valjaka na 5M i 6M, povećanje veličine otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna sa 150 μm na 180 μm (nije grafički prikazano) u postupku sa osmovaljnom stolicom nije imalo uticaja na trend promene granulacionog sastava mliva sa smanjenjem razmaka između valjaka. Primetno veći prinos brašna ostvaruje se pri

korišćenju sejnog tkiva od 180  $\mu\text{m}$  jer se time povećava gornja granica krupnoće čestica brašna i poboljšava odsejavanje čestica brašna dimenzija  $<150 \mu\text{m}$ , a koje usled već prethodno pomenutog problema ne dovoljne odsejanosti zaostaju u krupnijim frakcijama mliva.



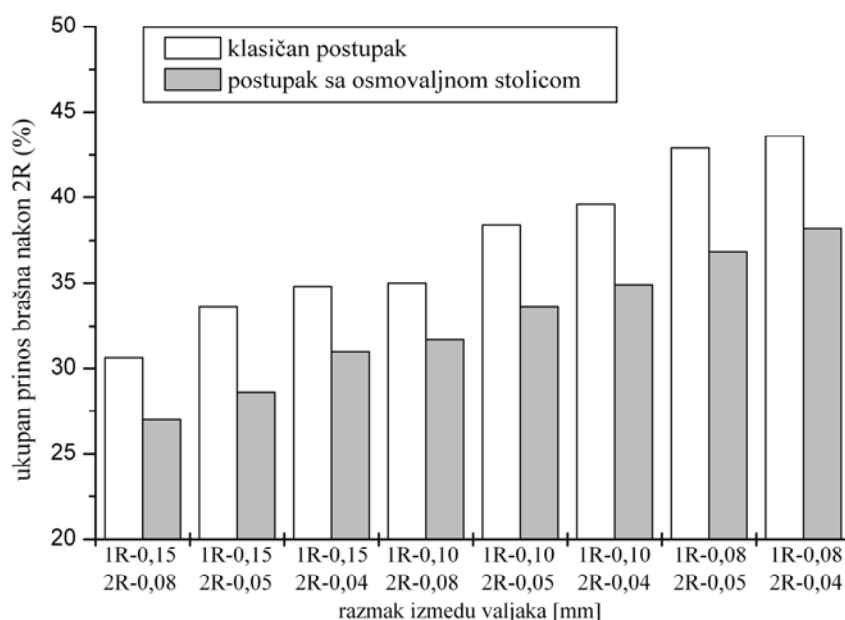
**Sl.38 - Kumulativne krive granulacionog sastava mliva 6M pri različitim razmacima između valjaka u postupku sa osmovaljnom stolicom**

### **4.3 UPOREDNA ANALIZA PRINOSA BRAŠNA U FAZI MLEVENJA GRIZA I OSEVAKA U KLASIČNOM I POSTUPKU SA OSMOVALJNOM STOLICOM**

Kao što je već istaknuto, uzimajući u obzir prirodu usitnjavanog materijala i zahteve koji se postavljaju kod prolazišta u fazi mlevenja griza i osevaka, prinos brašna je najpouzdaniji kvantitativni pokazatelj efekata usitnjavanja. Iz ovih razloga, uporedna analiza efekata mlevenja griza i osevaka u ispitivanim postupcima najbolje se može dati poređenjem ostvarenog prinosa brašna pri čemu se, naravno, nesmeju zanemariti kvalitativna svojstva brašna.

Može se zapaziti isti trend odnosa ostvarenog prinosa brašna u ispitivanim postupcima koji je, u većoj ili manjoj meri, prisutan u svim etapama.

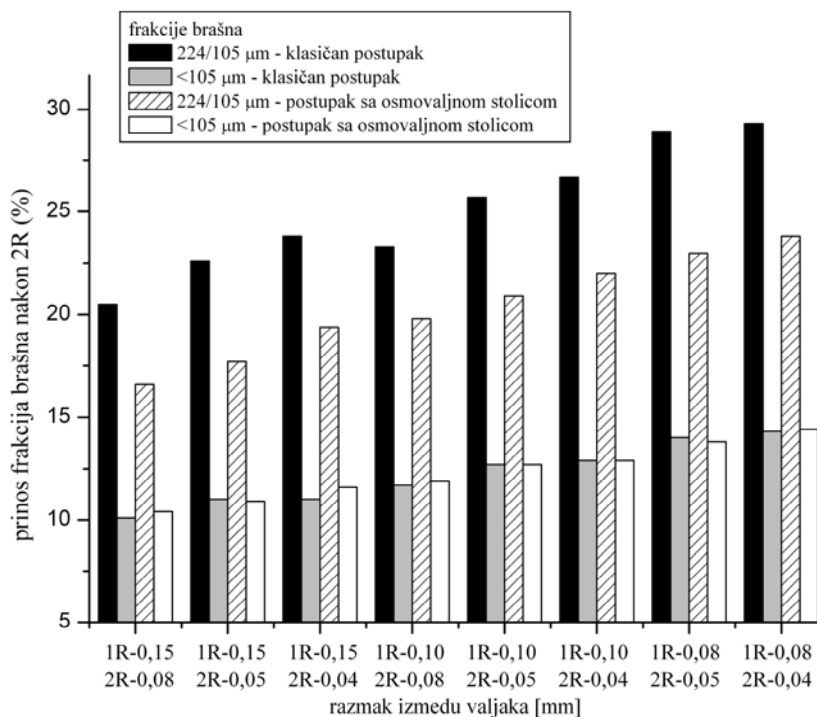
U prvoj etapi (A1), pri istom vođenju valjaka 1R i 2R i prosejavanju mliva na slogu sita sa istom veličinom otvora sejnih tkiva, na pomenutim prolazištima mlevenja se primenom osmovaljne stolice ostvaruje niži prinos brašna nego u klasičnom postupku (tab.31, sl.39). Ova razlika je statistički značajna ( $p < 0.001$ ). Manji prinos brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom posledica je nižeg prinosa krupnije frakcije brašna - 224/105  $\mu\text{m}$  ( $p < 0.001$ ) dok je prinos sitnije frakcije brašna -  $< 105 \mu\text{m}$  u oba ispitivana postupka relativno ujednačen odnosno razlika nije statistički značajna ( $p > 0.05$ ) (sl.40).



**Sl.39 – Prinos brašna nakon 2R (A1) u klasičnom i postupku sa osmovaljnom stolicom**

Wanzenreid [5] i Tegeler [6] takođe navode da primenu osmovaljne stolice prati brašno sitnije granulacije. U postupku sa osmovaljnom stolicom, u materijalu koji dolazi na usitnjavanje na 2R (mlivo od 1R), prisutne su i čestice brašna (u klasičnom postupku ove čestice su izdvojene prosejavanjem mliva 1R) koje preuzimaju na sebe deo sila deformacije u mlevnom prostoru, a koje su u klasičnom postupku usmerene na usitnjavanje krupnijih čestica. Pri datim uslovima usitnjavanja u mlevnom prostoru preovlađuju sile deformacije sabijanja, kojima se efikasno usitnjavaju čestice endosperma kao tipično

drobiva tela, a sa obzirom da se radi o uzorku krupnog griza prečišćenom na čistilici griza (uglavnom prisutne čestice endosperma) pomenuto preusmeravanje dela sila deformacije sa griza na usitnjavanje čestica brašna svakako je jedan od uzroka manjeg prinosa brašna kao i nešto sitnije granulacije brašna u ovom postupku u poređenju sa klasičnim postupkom.



**Sl.40 – Prinos frakcija brašna nakon 2R (A1) u klasičnom i postupku sa osmovaljnom stolicom**

Sa nižim vođenjem valjaka na prvom prolazištu mlevenja, odnosno gornjem paru valjaka, raste prinos brašna i shodno tome veće je prisustvo čestica brašna u materijalu koji dolazi na usitnjavanje na donji par valjaka osmovaljne stolice, a koje mogu na sebe da preuzimu deo sila deformacije u mlevnom prostoru i na taj način smanje prinos brašna na drugom prolazištu mlevenja kao i ukupni prinos brašna na dva prolazišta mlevenja na kojima je angažovana osmovaljna stolica. Shodno tome za očekivati je bilo da se sa nižim vođenjem valjaka na 1R, pri istom vođenju valjaka na 2R, povećava razlika u ostvarenom prinosu brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom u odnosu na klasičan postupak. Ipak na bazi rezultata prikazanih u ovoj disertaciji ne može se izvući pouzdan zaključak odnosno nije registrovana pravilnost promene.

Variostuhl, kao laboratorijska valjna stolica, ima kratku valjnu dužinu što olakšava ravnomerno doziranje materijala u mlevni prostor. Takođe i polazni uzorci u praktično



svim etapama su dobre sipkosti (uglavnom se radi o uzorcima griza različite krupnoće i stepena čistoće) tako da se odgovarajuće specifično opterećenje valjaka može pouzdano reprodukovati. Treba istaći da specifična opterećenja valjaka primenjena u toku eksperimentalnog rada u okviru navedenih etapa nisu u oblasti velikih specifičnih opterećenja valjaka pri kojima dolazi do povećanih gubitaka energije usled zagrevanja mliva zbog velikog trenja između površine valjaka i čestica mliva i čestica mliva međusobno. Pri takvim uslovima opada i efikasnost usitnjavanja usled promene oblika deformacije mliva tj. prelaza elastičnih u plastične deformacije. Pomenuti problemi prisutni su i kod usitnjavanja u klasičnom postupku, a izvesno je da sa primenom osmovaljne stolice postaju i izraženiji u odnosu na klasični postupak sa obzirom da je specifično opterećenje donjeg para valjaka osmovaljne stolice, odnosno odgovarajućeg prolazišta mlevenja, veće nego u klasičnom postupku jer se celokupna masa mliva sa gornjeg para valjaka bez izdvajanja brašna (izvoda) usitnjava na donjem paru valjaka. Veće specifično opterećenje valjaka u postupku sa osmovaljnom stolicom uzrokuje povećanu transformaciju mehaničke energije u toplotnu što za posledicu ima zagrevanje radnih elemenata uređaja za usitnjavanje (trupaca mlinskih valjaka) i povećano zagrevanje mliva što povećava plastična svojstva usitnjavanog materijala (posebno brašna) i značajno doprinosi manjoj efikasnosti usitnjavanja. Takođe klasičan postupak podrazumeva transport mliva (savremeni mlinovi podrazumevaju primenu pneumatskog transportnog sistema) od valjaka do odgovarajućeg odeljenja planskog sita pri čemu transportni vazduh preuzima deo toplote od čestica mliva do čega ne dolazi kod primene osmovaljne stolice sa obzirom da je usitnjavanje dvostepeno i materijal po izlasku iz mlevnog prostora gornjeg para valjaka gotovo momentalno ulazi u mlevni prostor donjeg para valjaka. Doduše pri radu sa Variostuhl-om zagrevanje mliva praktično se nije ni moglo osetiti sa obzirom da su uzorci usitnjavani diskontinualno, a samo mlevenje je trajalo vrlo kratko (15 do 23 sekunde). Iznesena razmatranja mogu imati daleko veći uticaj u pogonskim uslovima rada odnosno pri primeni osmovaljne stolice u industrijskim mlinovima jer se usitnjavanje odvija kontinualno.

Vizuelnim pregledom frakcija mliva 2R u postupku sa osmovaljnom stolicom uočeno je da izvesna masa brašna zaostaje u frakciji mliva 350/224  $\mu\text{m}$  što ukazuje na nedovoljnu odsejanost brašna. Na primeru poređenja postupka sa osmovaljnom stolicom i klasičnog postupka na prvim prolazištima u fazi mlevenja griza i osevaka (sl.10) koje navodi Wanzenried [5], vidi se da su u postupku sa osmovaljnom stolicom angažovana tri odeljenja planskog sita (3/6), a u klasičnom postupku po dva odeljenja (2/6) i nakon 1M i

nakon 2M (ukupno 4/6). U ovakvoj situaciji, sa obzirom da se u postupku sa osmovaljnom stolicom celokupna masa mliva sa 1M usmerava na 2M, specifično opterećenje sita 2M u postupku sa osmovaljnom stolicom je niže nego na 1M u klasičnom postupku, ali je maseni udeo brašna u mlivu koje dolazi na prosejavanje značajno veći. Načelna postavka, a kasnije i eksperimentalna realizacija simulacije uslova usitnjavanja u postupku sa osmovaljnom stolicom u okviru ove disertacije nešto se razlikuju u odnosu na prethodno navedeni primer. Naime, u poređenju sa klasičnim postupkom gde se prosejavanje mliva obavlja dvostepeno, i nakon 1R i nakon 2R, u postupku sa osmovaljnom stolicom prosejavanje mliva je jednostepeno (samo nakon 2R). Za razliku od postupka sa osmovaljnom stolicom gde celokupna masa mliva nakon 1R dopseva na 2R, u klasičnom postupku na 1R prosejavanjem je ostvaren određen izvod brašna što smanjuje masu materijala koja dolazi na 2R, a time je i specifično opterećenje sita 2R u klasičnom postupku manje nego u postupku sa osmovaljnom stolicom. Specifično opterećenje sita u postupku sa osmovaljnom stolicom jednako je specifičnom opterećenju sita 1R u klasičnom postupku ali su masa brašna (u industrijskim uslovima radi se o masenom protoku) i maseni udeo brašna u mlivu koje dolazi na prosejavanje na 2R u postupku sa osmovaljnom stolicom značajnije veći nego na 1R u klasičnom postupku. Prethodno pomenute činjenice za posledicu imaju manji prinos brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom usled nedovoljne odsejanosti brašna i ukazuju na potrebu izvesnih korekcija u delu prosejavanja u cilju bolje odbrašnjenosti mliva. Problem nedovoljne odsejanosti mliva odnosno činjenice da razvrstavanje čestica mliva po krupnoći na planskim sitima nije potpuno navode i Al-Mogahwi i Baker [134].

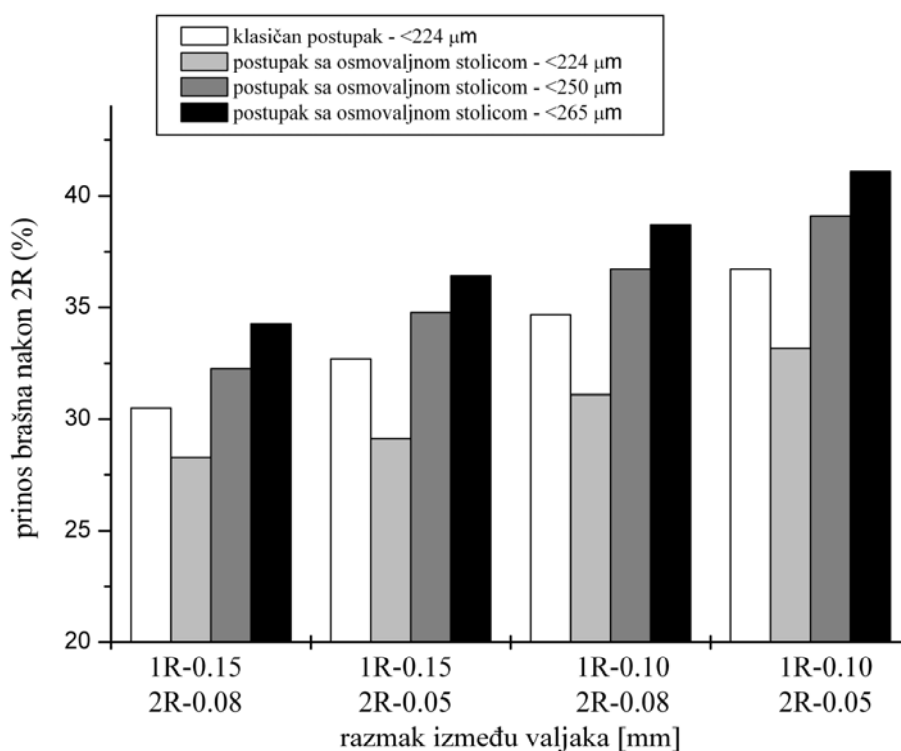
Rezultati pokazuju da se, pri istom vođenju valjaka i pri upotrebi sita sa istom veličinom otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna, u poređenju sa klasičnim postupkom, primenom osmovaljne stolice ostvaruje nešto manji prinos brašna. Kako se brašno izvodi iz postupka razumljivo je da u zavisnosti od njegovog prinosa znatno zavisi i kruženje mliva u ovoj fazi tehnološkog postupka mlevenja pšenice. Sa povećanjem prinosa brašna smanjuje se kruženje mliva u postupku. Iz prethodno navedenih razloga potrebno je definisati pri kojim parametrima prerade je moguće povećati prinos brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom i dovesti ga na približno isti (ili čak i veći) nivo kao u klasičnom postupku. Tada su uštede koje se ostvaruju primenom osmovaljne stolice veće i dobijaju na punom značaju. Svakako da se u cilju povećanja prinosa brašna nesme ići u takvu krajnost da se zanemare kvalitativni pokazatelji brašna (nesmeju izaći van toleratnih okvira).

Bez korekcija u delu prosejavanja mliva, pomenuta razlika u ostvarenom prinosu brašna u ispitivanim postupcima može se značajnije smanjiti nižim vođenjem valjaka u postupku sa osmovaljnom stolicom (sl.39). Približno isti ukupni prinos brašna ostvaren je pri istom vođenju valjaka 1R u oba postupka (0.15 odnosno 0.10 mm) i nižim vođenjem valjaka 2R u postupku sa osmovaljnom stolicom (0.04 mm) nego u klasičnom (0.08 mm). Takođe približan ukupni prinos brašna može se ostvariti i pri istom vođenju valjaka 2R (0.08, 0.05 ili 0.04 mm), ali uz manji razmak između valjaka 1R u postupku sa osmovaljkom (0.10 mm) u odnosu na razmak primenjen u klasičnom postupku (0.15 mm). Nižim vođenjem valjaka na oba prolazišta mlevenja u postupku sa osmovaljnom stolicom prinos brašna prevazilazi prinos ostvaren u klasičnom postupku. Pri istom vođenju valjaka u oba postupka se na 1R ostvaruje isti prinos brašna dok se kod osmovaljne stolice, usled nižeg vođenja valjaka 2R, povećavaju sile sabijanja u mlevnom prostoru i naprezanje čestica mliva raste, ali prisutne čestice brašna preuzimaju na sebe deo sila deformacije pa je prinos brašna približno jednak onome u klasičnom postupku pri višljem vođenju valjaka. Niže vođenje valjaka 1R u postupku sa osmovaljnom stolicom u odnosu na klasični postupak za posledicu ima veći prinos brašna na 1R nego u klasičnom postupku, dok se na 2R, bez obzira na isti razmak između valjaka, te shodno tome i isti odnos sila smicanja i sabijanja u mlevnom prostoru, manji prinos brašna ostvaruje u postupku sa osmovaljnom stolicom zbog preusmeravanja dela sila deformacije na usitnjavanje čestica brašna. Međutim, kada se postiže približno isti prinos brašna u ispitivanim postupcima, brašno u postupku sa osmovaljnom stolicom je nešto sitnije granulacije, odnosno poredeći sa brašnom u klasičnom postupku veći je udeo sitnije frakcije brašna ( $<105 \mu\text{m}$ ) i komplementarno tome nešto manji udeo krupnije frakcije brašna ( $224/105 \mu\text{m}$ ) (sl.40). Ovo takođe potvrđuje konstataciju da prisutne čestice brašna preuzimaju na sebe deo sila deformacije u mlevnom prostoru usled čega dolazi do njihovog usitnjavanja.

Ipak, pri radu u granicama malih razmaka između valjaka osetno je povećana transformacija mehaničke energije u toplotnu što utiče na transformaciju oblika deformacije mliva, tj. prelaz elastičnih u plastične deformacije (povećava se udeo plastičnih deformacija na račun elastičnih), što smanjuje efikasnost usitnjavanja i uzrokuje veći utrošak energije odnosno za postizanje određenog stepena usitnjavanja mliva troši se nesrazmerno više energije. Ovo upućuje da zbog prethodno navedenih razloga, u cilju povećanja prinosa brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom ne treba ići u područje ekstremno malih razmaka između valjaka. Navedeno treba rešavati korekcijama u delu

prosejavanja mliva ili kombinacijom korekcija u delu prosejavanja mliva i nešto nižim vođenjem valjaka.

Rezultati druge etape, koja takođe obuhvata ispitivanja na uzorku krupnog griza prečišćenog na ČG (A2), u skladu su sa rezultatima prve etape i potvrdili su konstataciju da se, pri istom vođenju valjaka i pri upotrebi sita sa istom veličinom otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna, u postupku sa osmovaljnom stolicom ostvaruje manji prinos brašna nego u klasičnom postupku ( $p < 0.01$ ). Manji prinos brašna objašnjava se na isti način kao i u prvoj etapi. Sa nižim vođenjem valjaka u postupku sa osmovaljnom stolicom smanjuje se razlika u prinosu brašna u odnosu na klasičan postupak, pri čemu se u zavisnosti od primenjenih razmaka između valjaka, može dostići ili čak i prevazići prinos brašna u klasičnom postupku (tab.32, sl.41).



**Sl.41 – Prinos brašna nakon 2R (A2) u klasičnom i postupku sa osmovaljnom stolicom**

Činjenica da je u prvoj etapi vizuelnim pregledom ustanovljeno da je, u postupku sa osmovaljnom stolicom, izvesna masa brašna prisutna u frakciji mliva 350/224 μm potvrđena je i u drugoj etapi što je ukazalo na potrebu izvesnih korekcija u delu

prosejavanja mliva u cilju bolje odbrašljenosti. Iz ovih razloga je u drugoj etapi, pored variranja razmaka između valjaka, ispitan i uticaj promene uslova prosejavanja mliva pri čemu je navedena promena usklađena sa rezultatima prve etape.

Svakako da ove korekcije ne treba da idu u pravcu povećanja sejne površine sa obzirom da je jedna od osnovnih prednosti postupka sa osmovaljnom stolicom upravo značajno manja potrebna sejna površina u odnosu na klasičan postupak pri istom kapacitetu prerade. Savremena planska sita kasetnog tipa, omogućavaju dosta brzu i laku promenu uložnih sejnih rama, te su stoga korekcije u delu prosejavanja mliva u postupku sa osmovaljnom stolicom išle u pravcu promene (povećanja) veličine otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna. Treba istaći da na efektivnost prosejavanja značajno utiče i efikasnost čišćenja sejnog tkiva, koja je u savremenim planskim sitima na visokom nivou i po potrebi se može lako korigovati.

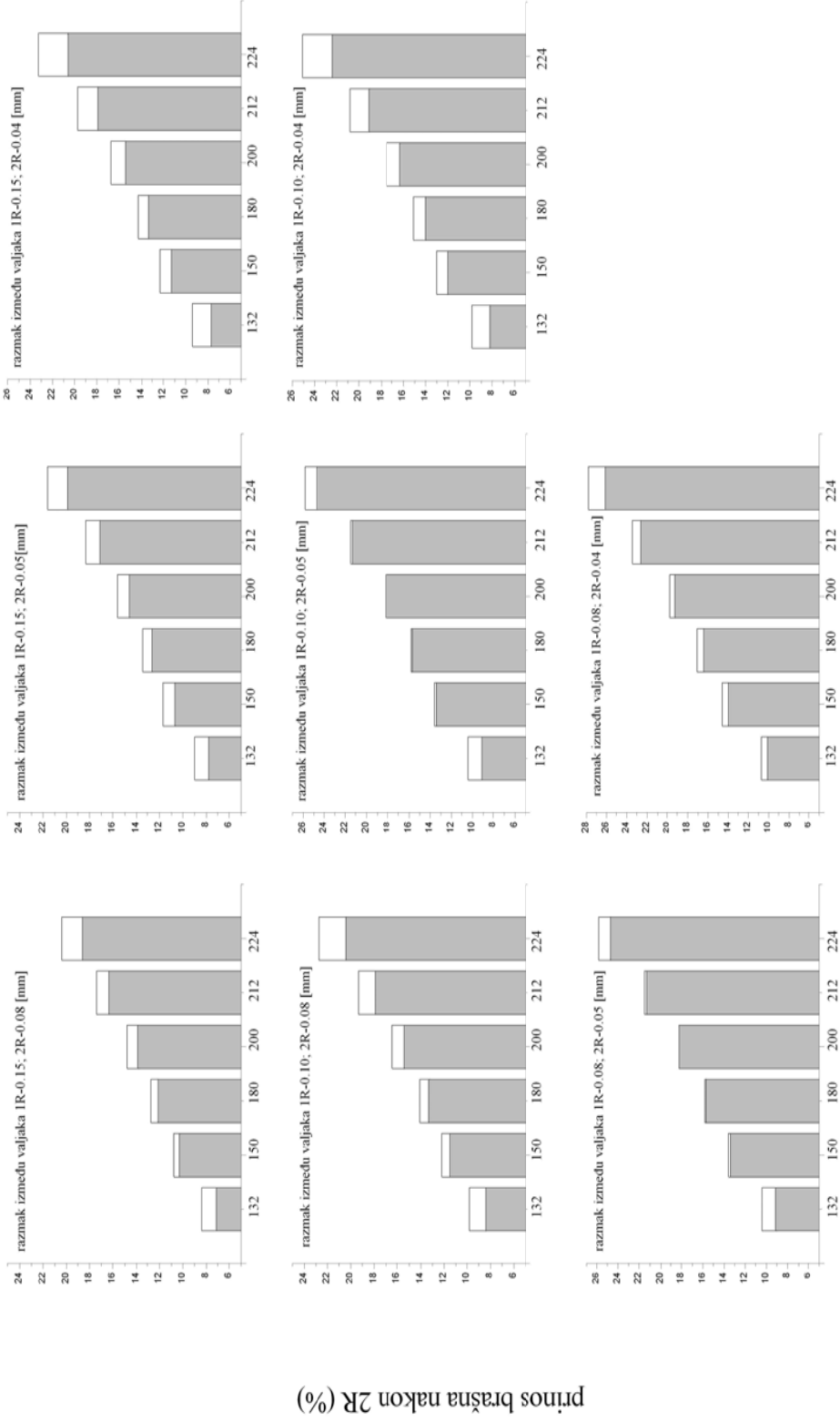
Pri istom vođenju valjaka, korekcijom sloga sita odnosno povećanjem veličine otvora sejnog tkiva sita na kome se brašno izdvaja kao propad, sa 224  $\mu\text{m}$  na 250  $\mu\text{m}$  odnosno 265  $\mu\text{m}$ , značajno raste prinos brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom i veći je u odnosu na prinos brašna u klasičnom postupku pri upotrebi sita od 224  $\mu\text{m}$  (tab.32, sl.41). Na 1R, odnosno prvim prolazištima u fazi mlevenja griza i osevaka, uobičajeno se prosejavanjem na planskom situ dobijaju 2, a ponekad i 3 pasazna brašna različite granulacije. Veličina otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna primenjena u ovom radu praktično predstavlja gornju granicu krupnoće čestica brašna, a prinos brašna odgovarao bi zbirnom prinosu pomenutih pasaznih brašna. Povećanjem veličine otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna, pospešuje se prosejavanje neodseva odnosno čestica brašna koje su vizuelno registrovane u frakciji mliva 350/224 ali se istovremeno i povećava gornja granica krupnoće čestica brašna tako da oba pomenuta faktora uzrokuju povećanje prinosa brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom. Ovde se svakako mora imati u vidu da li i na koji način ova promena utiče na svojstva dobijenog brašna (sadržaj pepela, granulacija i dr.) imajući u vidu namenu istog. Zato se prilikom odabira odgovarajućeg sejnog tkiva, pored veličine otvora [ $\mu\text{m}$ ], u obzir mora uzeti i veličina svetlog otvora (%) jer i ovo može bitno uticati na efektivnost prosejavanja. Očigledno je da se korekcijama u delu prosejavanja mliva odnosno povećanjem veličine otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna može osetnije uticati na povećanje izvoda brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom nego nižim vođenjem valjaka.

Rezultati dobijeni u trećoj etapi, pri usitnjavanju ne prečišćenog krupnog griza (B3), takođe pokazuju da se pri istom vođenju valjaka na 1R i 2R i istoj veličini otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna, ostvaruje manji prinos brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom nego u klasičnom postupku što je konstantan trend ( $p < 0.001$ ) bez obzira na samu veličinu otvora sejnog tkiva za prosejavanje brašna (tab.33-35, sl.42). Naime, brašno dobijeno nakon 1R i 2R u klasičnom postupku ( $< 224 \mu\text{m}$ ) i 2R u postupku sa osmovaljnom stolicom ( $< 250 \mu\text{m}$ ) dodatno je prosejavano na slogu sita (224, 212, 200, 180, 150, 132  $\mu\text{m}$  uključujući i dno) pri čemu je određen prinos frakcija brašna vrlo uskog intervala krupnoće čestica. Sejna tkiva sa veličinom otvora  $< 132 \mu\text{m}$  nisu korišćena sa obzirom da se ni u pogonskim uslovima rada danas praktično ne koriste.

Razlozi manjeg prinosa brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom mogu se objasniti na isti način kao i u prve dve etape. Ipak, kod usitnjavanja uzoraka A1 i A2 (preovlađuju krupnije čestice endosperma oslobođene delića spoljnih slojeva zrna) u postupku sa osmovaljnom stolicom, deo sila deformacije koji ne preuzimaju na sebe čestice brašna prisutne u mlevnom prostoru donjeg para valjaka, usmerene su na usitnjavanje krupnijih čestica endosperma (griza) koje se, kao tipično drobiva tela, pri datim uslovima usitnjavanja u kojima preovlađuju sile deformacije sabijanja efektivno usitnjavaju.

Kod usitnjavanja uzorka B3, pored čestica čistog endosperma, prisutne su i čestice endosperma sa priljubljenim delovima omotača i čestice omotača sa neznatnim sadržajem endosperma. Spoljni slojevi zrna, kao izrazito plastična tela, pri datim uslovima se ne usitnjavaju efikasno, tako da pored dela sila deformacije sabijanja koje na sebe preuzimaju prisutne čestice brašna, deo sila deformacije sabijanja asporbuju i delići spoljnih slojeva zrna što dodatno doprinosi manjoj efikasnosti usitnjavanja. Pomenuta činjenica je još izraženija u klasičnom postupku gde se, usled izdvajanja brašna nakon 1R, povećava udeo spoljnih slojeva zrna u materijalu koji se usitjava na 2R (veći je nego u postupku sa osmovaljnom stolicom), a time i udeo sila deformacije koje na sebe preuzimaju ove čestice. Ovde je vrlo teško (praktično nemoguće) dati procenu u kojoj meri pomenute pojave utiču na prinos brašna u ispitivanim postupcima. Ipak, očigledno je da se, pri istom razmaku između valjaka, u postupku sa osmovaljnom stolicom ostvaruje manji prinos brašna nego u klasičnom postupku i to bez obzira na veličinu otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna (sl.42).

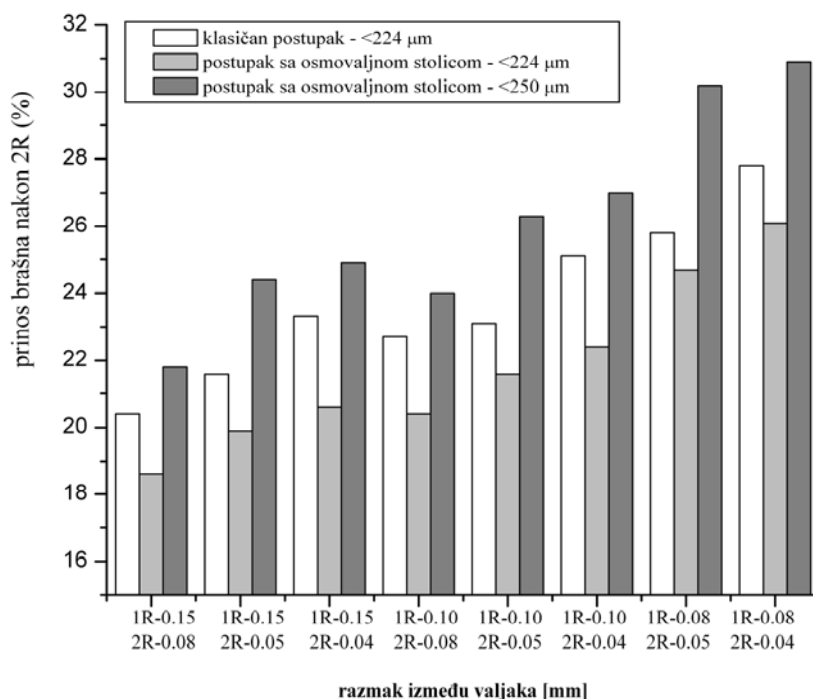
klasičan postupak  
 postupak sa osmovaljnom stolicom



veličina otvora sejnog tkiva na kome je odsejano brašno [µm]

**Sl.42 – Prinos brašna nakon 2R (B3) u klasičnom i postupku sa osmovaljnom stolicom pri različitoj veličini otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna**

Bez korekcija u delu prosejavanja mliva, odnosno pri upotrebi sita sa istom veličinom otvora sejnog tkiva za izdvajanje brašna (224  $\mu\text{m}$ ), u postupku sa osmovaljnom stolicom može se, nižim vođenjem valjaka, ostvariti prinos brašna nakon 2R sličan onome u klasičnom postupku (sl.43). Približno isti ukupni prinos brašna ostvaren je pri istom vođenju valjaka na 1R u oba postupka (0.15 odnosno 0.10 mm) i nižim vođenjem valjaka na 2R u postupku sa osmovaljkom (0.04 mm) nego u klasičnom (0.08 mm). Takođe približan ukupni prinos brašna može se ostvariti i pri istom vođenju valjaka na 2R (0.08, 0.05 ili 0.04 mm), ali uz manji razmak između valjaka na 1R u postupku sa osmovaljkom (0.10 mm) u odnosu na razmak primenjen u klasičnom postupku (0.15 mm). Sa još nižim vođenjem valjaka u postupku sa osmovaljnom stolicom (1R – 0.08 mm) prinos brašna prevazilazi prinos ostvaren u klasičnom postupku pri obe varijante višljeg vođenja valjaka (0.15 i 0.10 mm). Navedeni trendovi su gotovo identični sa trendovima registrovanim u prve dve etape.



**Sl.43 – Prinos brašna nakon 2R (B3) u klasičnom i postupku sa osmovaljnom stolicom**

Pri istom vođenju valjaka, korekcijom sloga sita, odnosno povećanjem veličine otvora sejnog tkiva sita na kome se brašno izdvaja kao propad (250  $\mu\text{m}$ ), značajno raste prinos brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom i veći je u odnosu na prinos brašna u



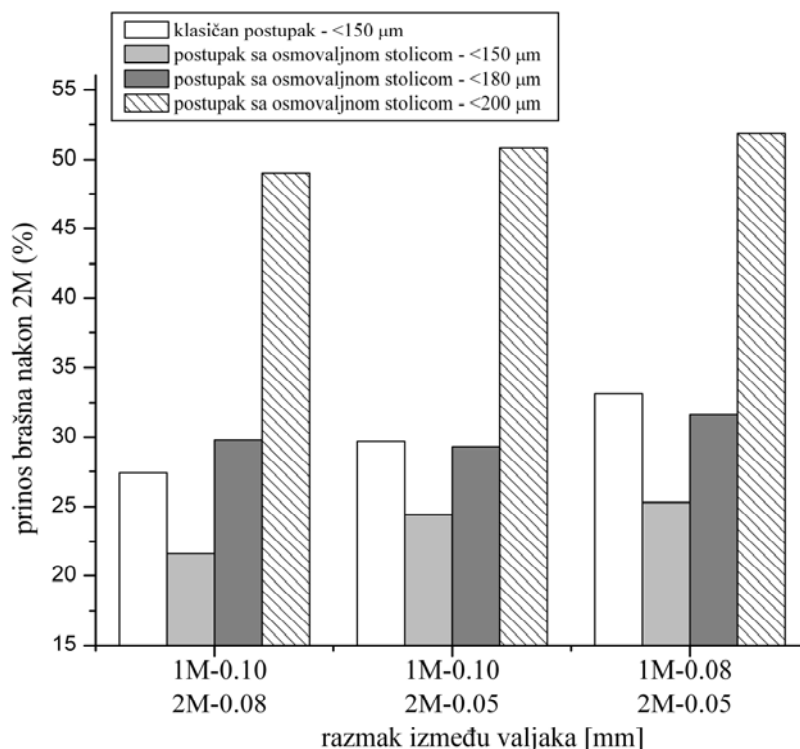
klasičnom postupku pri upotrebi rame sita od 224  $\mu\text{m}$ . I ovde rezultati pokazuju da se na povećanje prinosa brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom može osetnije uticati povećanjem veličine otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna nego nižim vođenjem valjaka. Kao što je već istaknuto, na ovaj način povećava se i gornja granica krupnoće čestica brašna, pa se u obzir mora uzeti da li i na koji način ova promena utiče i na svojstva dobijenog brašna.

Rezultati potvrđuju da i kod mlevenja ne prečišćenog griza u postupku sa osmovaljnom stolicom, u cilju ostvarenja približno istog prinosa brašna kao u klasičnom postupku, rešenje treba tražiti u kombinaciji nižeg vođenja valjaka i primeni nešto većeg otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna. Obzirom da su u grizu koji nije prečišćen na ČG prisutne i čestice poreklom iz spoljašnjih slojeva zrna, pomenuti parametri se moraju pažljivo podešavati da njihova promena nebi izazvala nepoželjne posledice po kvalitet dobijenog brašna (povećano upadanje mekinjastih čestica u brašno).

Četvrta etapa obuhvatila je ispitivanja na uzorku griza značajno manje krupnoće (srednji i sitni) u odnosu na griz (krupni) u prethodnim etapama. I u ovoj etapi, kao i u prve tri etape, pri istom vođenju valjaka u klasičnom i postupku sa osmovaljnom stolicom (1M i 2M), kada je za odsejavanje brašna korišćeno sito sa istom veličinom otvora sejnog tkiva (150  $\mu\text{m}$ ), može se uočiti da je prinos brašna veći u klasičnom postupku (tab.36, sl.44) ( $p < 0.05$ ). Uzroci manjeg prinosa brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom objašnjavaju se na isti način u skladu sa analizama datim u prethodnim etapama (preusmeravanje dela sila deformacije i nedovoljna odsejanost brašna).

Pri istom vođenju valjaka na 1M u oba postupka (0,10 mm) i upotrebom sita sa istom veličinom otvora sejnog tkiva za izdvajanje brašna (150  $\mu\text{m}$ ), smanjenjem razmaka između valjaka na 2M u postupku sa osmovaljnom stolicom (0,05 mm) u odnosu na klasičan postupak (0,08 mm), postiže se veći prinos brašna, ali je on i dalje manji nego u klasičnom postupku. Isto se može zaključiti i kada se u postupku sa osmovaljnom stolicom smanji razmak na 1M (0,08 mm) u odnosu na klasičan postupak (0,10 mm), dok je razmak na 2M isti u oba postupka (0,05 mm). Nižim vođenjem valjaka i na 1M i na 2M u postupku sa osmovaljnom stolicom, smanjuje se razlika u prinosu brašna, ali i dalje se ne dostiže prinos brašna kao u klasičnom postupku. Ovo ukazuje da bi, u cilju daljeg povećanja prinosa brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom, trebalo ići sa još nižim vođenjem valjaka što može predstavljati problem u svetlu već prethodno iznete činjenice da u oblasti vrlo malih razmaka između valjaka, zbog transformacije dela mehaničke u toplotnu energiju, dolazi do povećanog zagrevanja mliva i promene elastičnih u plastične

deformacije, pa se smanjuje efikasnost usitnjavanja i troši nesrazmerno više energije. Prethodno pomenuto ukazalo je na potrebu korekcija u delu prosejavanja mliva pri upotrebi osmovaljne stolice u cilju boljeg odsejavanja brašna što je i realizovano povećanjem veličine otvora sejnog tkiva.



**Sl.44 – Prinos brašna nakon 2M u klasičnom i postupku sa osmovaljnom stolicom**

Ukoliko se za izdvajanje brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom upotrebi rama sita sa veličinom otvora od  $180\ \mu\text{m}$ , pri relativno višljem vođenju valjaka premašuje se (1M-0.10; 2M-0.08) ili dostiže (1M-0.10; 2M-0.05) prinos brašna u klasičnom postupku, dok se pri nižem vođenju valjaka (1M-0.08; 2M-0.05) pomenuta razlika značajno smanjuje, ali se još uvek ne dostiže prinos brašna kao u klasičnom postupku što je verovatno posledica još uvek nedovoljne odsejanosti brašna. Daljim povećanjem veličine otvora sejnog tkiva rame sita za odsejavanje brašna na  $200\ \mu\text{m}$  prinos brašna u postupku sa osmovaljkom se značajno povećava (tab.36, sl.44). Ovo ukazuje na činjenicu da se potrebna korekcija sejnog tkiva sita mora usklađivati sa vođenjem valjaka pri čemu se u obzir moraju uzeti i kvalitativni pokazatelji efektivnosti usitnjavanja, a pre svega sadržaj pepela u brašnu.

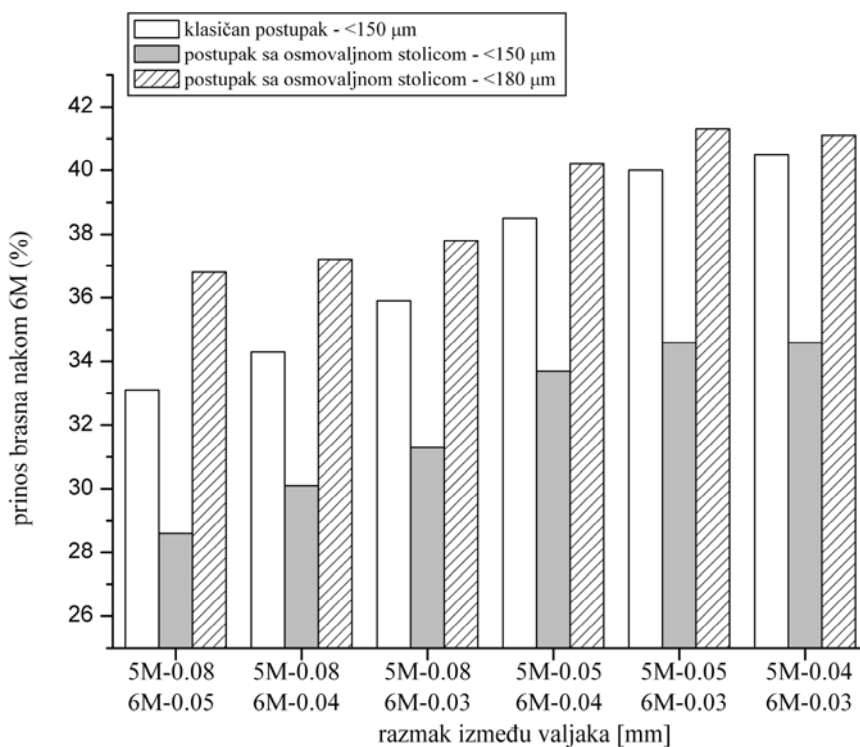
Na poslednjim prolazištima u fazi mlevenja griza i osevaka, odnosno u petoj etapi, takođe je zabeleženo da se pri istom vođenju valjaka 5M i 6M i pri upotrebi sita sa istom veličinom otvora sejnog tkiva od 150  $\mu\text{m}$  za izdvajanje brašna, ostvaruje manji prinos brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom nego u klasičnom postupku ( $p < 0.001$ ) (tab.37, sl.45). Preusmeravanje dela sila deformacije u mlevnom prostoru valjaka 6M na usitnjavanje prisutnih čestica brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom i ovde svakako doprinosi manjem prinosu brašna u odnosu na prinos brašna u klasičnom postupku posebno ako se ima u vidu ranija konstatacija o nedovoljnoj odsejanosti već samog polaznog uzorka (B5). U klasičnom postupku prosejavanje mliva je dvostepeno što ostavlja veću mogućnost za ublažavanje posledica nedovoljne odsejanosti polaznog uzorka. U postupku sa osmovaljnom stolicom maseni udeo brašna u mlivu koje dolazi na prosejavanje svakako je veći u odnosu na klasični postupak, a nedovoljna odsejanost polaznog uzorka dodatno doprinosi problemu odsejavanja brašna. Činjenica da se radi o brašnu sa poslednjih prolazišta mlevenja koje je relativno sitnije granulacije i inače predstavlja materijal sa slabijom sipkošću koji se teže prosejava, takođe doprinosi manjem prinosu brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom. Sve prethodno navedeno ukazalo je na neophodnost izvesnih korekcija u delu prosejavanja mliva pri upotrebi osmovaljne stolice.

Pri upotrebi sita sa istom veličinom otvora sejnog tkiva za izdvajanje brašna (150  $\mu\text{m}$ ), relativno blizak prinos brašna u oba postupka ostvaren je nižim vođenjem valjaka i 5M i 6M u postupku sa osmovaljnom stolicom (klasičan postupak: 5M – 0.08 mm, 6M – 0.05 mm, osmovaljak: 5M – 0.05 mm, 6M – 0.04 mm; odnosno klasičan postupak: 5M – 0.08 mm, 6M – 0.04 mm, osmovaljak: 5M – 0.05 mm, 6M – 0.03 mm i 5M – 0.04 m, 6M – 0.03 mm) (sl.45). Očigledno je da u području vrlo malih razmaka između valjaka i na 5M i na 6M (0.03-0.05 mm) ne dolazi do izraženijeg povećanja prinosa brašna što je pokazatelj slabije efikasnosti usitnjavanja. U pogonskim uslovima rada ovo može biti daleko izraženije usled povećane transformacije mehaničke energije u toplotnu što za rezultat ima zagrevanje trupaca mlinskih valjaka i povećano zagrevanje mliva što povećava plastična svojstva usitnjavanog materijala, a posebno brašna, što je sa stanovišta efikasnosti usitnjavanja izrazito nepovoljno pogotovo kada je materijal koji se usitnjava nedovoljno odbrašnjen.

Povećanjem veličine otvora sejnog tkiva sita na kome se brašno izdvaja kao propad sa 150  $\mu\text{m}$  na 180  $\mu\text{m}$  značajno raste prinos brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom i

prevazilazi prinos brašna u klasičnom postupku pri primeni sejnog tkiva od 150  $\mu\text{m}$ . I u ovoj etapi se pokazalo da se korekcijama u delu prosejavanja mliva može osetnije uticati na povećanje prinosa brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom nego nižim vođenjem valjaka. Ipak, evidentno je da je porast prinosa brašna, usled povećanja veličine otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom ( $<180 \mu\text{m}$ ), znatno izraženiji pri višljem vođenju valjaka kada je i uočljivo veći u odnosu na prinos brašna u klasičnom postupku ( $<150 \mu\text{m}$ ). U pravcu nižeg vođenja valjaka 5M i 6M smanjuje se razlika u prinosu brašna u klasičnom ( $<150 \mu\text{m}$ ) i postupku sa osmovaljnom stolicom ( $<180 \mu\text{m}$ ), a pri izrazito niskom vođenju (5M - 0.04 mm, 6M - 0.03 mm) su pomenuti prinosi gotovo izjednačeni, što potvrđuje iznetu konstataciju da u oblasti vrlo malih razmaka između valjaka opada efikasnost usitnjavanja, pogotovo u postupku sa osmovaljnom stolicom, usled promene oblika deformacije odnosno prelaza elastičnih u plastične deformacije.

Optimalno rešenje pri primeni osmovaljne stolice treba naći u usklađivanju vođenja valjaka i uslova prosejavanja mliva u cilju dobijanja što većeg prinosa brašna zadovoljavajućeg kvaliteta što pre svega zavisi od namene brašna.



**Sl.45 – Prinos brašna nakon 6M u klasičnom i postupku sa osmovaljnom stolicom**

#### 4.4 ANALIZA SADRŽAJA PEPELA U FRAKCIJAMA MLIVA

Analizom sadržaja pepela u frakcijama mliva u prvoj etapi zapaža se sličan trend raspodele sadržaja pepela po frakcijama mliva, kao i pravilnost promene ovog pokazatelja pri promeni razmaka između valjaka u oba ispitivana postupka. Pri datom vođenju valjaka, zapaža se da je sadržaj pepela najveći u najkrupnijoj frakciji mliva (odgovara gornjem prelazu sa tzv. predsita na uobičajenoj šemi prosejavanja za data prolazišta mlevenja) i da je uočljivo veći od sadržaja pepela u ostalim frakcijama mliva i na 1R i na 2R. Mineralne materije su skoncentrisane u spoljašnjim slojevima zrna (subaleuronski sloj, aleuronski sloj, klica i omotač), a njihov sadržaj se povećava od centralnih delova jezgra endosperma ka perifernim delovima endosperma i zrna u celini [35] tako da veći sadržaj pepela ukazuje na veće prisustvo čestica spoljašnjih slojeva zrna u datoj frakciji u odnosu na ostale frakcije mliva. Takođe se uočava da je sadržaj pepela sitnije frakcije brašna (<105  $\mu\text{m}$ ) nešto veći od sadržaja pepela krupnije frakcije brašna (224/105  $\mu\text{m}$ ) koji je vrlo bilzak sa sadržajem pepela sitnog griza-osevaka (350/224  $\mu\text{m}$ ) (tab.38-40). Nešto veći sadržaj pepela sitnije frakcije brašna ukazuje na povećano prisustvo čestica perifernih delova endosperma u poređenju sa krupnijom frakcijom brašna koju, sa obzirom da ima najniži sadržaj pepela, prevashodno čine čestice poreklom iz centralnih slojeva endosperma.

Takođe i na 1R i na 2R, u oba ispitivana postupka, zapaža se da sa smanjenjem razmaka između valjaka raste sadržaj pepela najkrupnije frakcije mliva, dok je sadržaj pepela ostalih frakcija mliva relativno ujednačen ili sa blagom promenom bez jednoznačnog trenda ove promene. U najkrupnijoj frakciji mliva (gornji prelaz) utvrđen je izrazito pravilan porast sadržaja pepela sa smanjenjem razmaka između valjaka što je posledica povećanog osiromašenja datog materijala u endospermu. To je sasvim razumljivo ako se ima u vidu priroda materijala koji se usitnjava i delovanje sila deformacije u mlevnom prostoru valjaka pri datim uslovima. Pri usitnjavanju glatkim valjcima, pri prenosnom odnosu koji je primenjen – 1.25 (uobičajen za fazu mlevenja griza i osevaka tehnološkog postupka mlevenja pšenice), relativan odnos sila deformacije u mlevnom prostoru je takav da naglašeno dominiraju sile deformacije sabijanja. Pri istim ostalim parametrima usitnjavanja, sa smanjenjem razmaka između valjaka menja se odnos sila sabijanja i smicanja u mlevnom prostoru u korist sila sabijanja, što doprinosi povećanom stepenu usitnjavanja endosperma kao tipično drobivog tela. Nasuprot tome, delići klice i omotača kao izrazito plastična tela, usitnjavaju se u daleko manjoj meri od

endosperma. Takođe, sa smanjenjem razmaka između valjaka povećava se i dužina mlevnog prostora (dužina puta usitnjavanja), a time i vremenski interval u kome su čestice izložene dejstvu sila deformacije, što takođe doprinosi većem stepenu usitnjavanja endosperma. Shodno tome, smanjenje prinosa najkrupnije frakcije mliva posledica je osiromašenja u endospermu usled čega se povećava udeo spoljašnjih slojeva zrna i raste sadžaj pepela u datoj frakciji mliva. Komplementarni porast prinosa brašna sa smanjenjem razmaka između valjaka rezultat je usitnjavanja endosperma tako da ne dolazi do povećanja sadržaja pepela u brašnu sa nižim vođenjem valjaka. Slične rezultate navode i Scanlon i sar. [96]. Sadržaj pepela u najkrupnijoj frakciji mliva daleko je veći na 2R nego na 1R što i jeste posledica pomenutog osiromašenja u endospermu.

Eventualna promena oblika deformacije pri vrlo malim razmacima između valjaka, odnosno prelaz elastičnih u plastične deformacije, usled povećane transformacije mehaničke energije u toplotnu, utiče na kvantitativnu stranu usitnjavanja (manju efikasnost usitnjavanja endosperma) ali ne doprinosi povećanom usitnjavanju spoljašnjih slojeva zrna koja i inače imaju naglašena plastična svojstva tako da ne dolazi do povećanja sadržaja pepela u brašnu.

Pri istom vođenju valjaka u oba ispitivana postupka ne postoji značajna razlika u sadržaju pepela u brašnu ( $p > 0.05$ ). Takođe, ni kada se nižim vođenjem valjaka u postupku sa osmovaljnom stolicom ostvaruje približno isti ukupni prinos brašna kao u klasičnom postupku (tab.31, sl.39), ne postoji značajnija razlika u sadržaju pepela u brašnu dobijenom u pomenutim postupcima (tab.53) ( $p > 0.05$ ). Pomenuta činjenica ukazuje da, nižim vođenjem valjaka u postupku sa osmovaljnom stolicom u cilju povećanja prinosa brašna, ne dolazi do pogoršanja kvalitativnih svojstava brašna sa aspekta sadržaja pepela u brašnu.

Treba istaći da u okviru ove disertacije nisu obavljena ispitivanja mehaničkog oštećenja skroba<sup>xvii</sup> pri promeni razmaka između valjaka i postoji potreba da se ispitivani postupci uporede po ovom, ali i drugim pokazateljima kvaliteta brašna. Tako Flamer [135] navodi da, zbog toga što mlivo sa gornjeg para valjaka gotovo momentalno, bez hlađenja, ulazi u mlevni prostor donjeg para valjaka, temperatura mliva sa donjeg para valjaka osmovaljne stolice može biti vrlo visoka što može izazvati pogoršanje kvaliteta brašna

---

<sup>xvii</sup> Izvestan stepen mehaničke oštećenosti skroba u brašnu je potreban da bi se, u toku fermentacije, zahvaljujući aktivnosti kvasca, razvila dovoljna količina gasa ( $\text{CO}_2$ ).

usled toplotnog oštećenja pre svega glutena. Pomenuti problemi su izraženiji pri izrazito niskom vođenju valjaka i velikim specifičnim opterećenjima valjaka.

Svakako da se osetnije smanjenje razmaka između valjaka odražava i na oštećenje skrobnih granula. Scanlon i sar. [96] navode da sa smanjenjem razmaka između valjaka, odnosno intenziviranjem sila deformacije sabijanja, raste stepen mehaničke oštećenosti skroba. Činjenica da u postupku sa osmovaljnom stolicom, čestice brašna preuzimaju na sebe deo sila deformacije u mlevnom prostoru donjeg para valjaka, ukazuje da se može očekivati i nešto veći stepen mehaničke oštećenosti skroba. Tegeler [6] navodi da primena osmovaljne stolice omogućava veću fleksibilnost u kontroli stepena mehaničke oštećenosti skroba u odnosu na klasičan postupak ali ne navodi detaljnije podatke.

U klasičnom postupku, sadržaj pepela u brašnu sa 1R je nešto veći od sadržaja pepela u brašnu sa 2R i praktično u ovom postupku dobijaju se dva pasazna brašna sa izvesnom razlikom u kvalitetu. U postupku sa osmovaljnom stolicom dobija se samo jedno pasazno brašno nakon 2R tako da je broj pasaznih brašna u ovom postupku manji u odnosu na klasičan postupak što u izvesnoj meri sužava mogućnosti formiranja namenskih brašna specifičnih kvalitativnih svojstava.

Ispitivanja u drugoj etapi, potvrdila su zapažanja iz prve etape. Pri datom vođenju valjaka 1R i 2R u klasičnom postupku i 2R u postupku sa osmovaljnom stolicom, sadržaj pepela daleko je najveći u najkrupnijoj frakciji mliva i uočljivo je veći od sadržaja pepela u ostalim frakcijama koje se međusobno gotovo i ne razlikuju po ovom pokazatelju. Ipak, za razliku od prve etape ovde ne postoji razlika u sadržaju pepela krupne i sitnije frakcije brašna kao ni razlika u sadržaju pepela u brašnu sa 1R i 2R u klasičnom postupku (tab.41-43).

Sa smanjenjem razmaka između valjaka, u oba ispitivana postupka, povećava se sadržaj pepela u najkrupnijoj frakciji mliva, dok ova promena nema uticaja na sadržaj pepela ostalih frakcija. Pomenuto se objašnjava na isti način u skladu sa analizom datom za prvu etapu.

Rezultati dobijeni u prvoj etapi, odnosno činjenica da je sadržaj pepela u frakcijama mliva 224/105  $\mu\text{m}$  i 350/224  $\mu\text{m}$  gotovo ujednačen (tab.40), ukazala je da povećanje veličine otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna, u cilju povećanja prinosa brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom, neće uzrokovati pogoršanje kvaliteta odnosno povećanje sadržaja pepela u brašnu. Ovo je potvrđeno u drugoj etapi, gde pri povećanju veličine otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna sa 224  $\mu\text{m}$  na 250  $\mu\text{m}$  odnosno 265  $\mu\text{m}$  nije došlo do promene sadržaja pepela u brašnu (tab.43).

Ne postoji statistički značajna razlika ( $p > 0.05$ ) u sadržaju pepela u brašnu, pri istom vođenju valjaka i primeni iste veličine otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna u oba postupka, kada se u postupku sa osmovaljnom stolicom ostvaruje nešto niži prinos brašna u poređenju sa klasičnim postupkom. Takođe, ni kada se nižim vođenjem valjaka, ili korekcijom u delu prosejavanja mliva, povećava prinos brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom, i na taj način smanjuje razlika ili čak i prevazilazi prinos brašna u klasičnom postupku, ne postoji značajna razlika u sadržaju pepela u brašnu ( $p > 0.05$ ).

Rezultati druge etape pokazali su da korekcije u delu prosejavanja mliva, kojima se i inače može osetnije uticati na povećanje prinosa brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom u odnosu na niže vođenje valjaka, neće dovesti do pogoršanja kvaliteta brašna u ovoj fazi tehnološkog postupka mlevenja pšenice.

Rezultati treće etape pokazuju određene sličnosti sa trendovima registrovanim u prve dve etape ali uz izvesne specifičnosti što je i očekivano ako se imaju u vidu razlike u svojstvima polaznih uzoraka. Primetna je slična raspodela sadržaja pepela po frakcijama mliva. Pri datom razmaku između valjaka 1R, sadržaj pepela je najveći u najkrupnijoj frakciji mliva što ukazuje na značajno veće prisustvo čestica omotača, aleuronskog sloja i klice u datoj frakciji u odnosu na ostale frakcije. Frakcija mliva 350/224  $\mu\text{m}$  je sa najnižim sadržajem pepela, a takođe se može uočiti i da je u frakciji brašna sitnije granulacije ( $< 132 \mu\text{m}$ ) sadržaj pepela nešto veći nego u krupnijoj (224/132  $\mu\text{m}$ ) (tab.44).

Sadržaj pepela u brašnu, a pogotovo u prelazu značajno je veći od sadržaja pepela u odgovarajućim frakcijama mliva 1R u prve dve etape što je očekivano sa obzirom da se radi o neprečišćenom grizu. Analizom sadržaja pepela u najkrupnijoj frakciji mliva (odgovara gornjem prelazu pri uobičajenoj šemi prosejavanja za data prolazišta mlevenja) pri različitim razmacima između valjaka zapaža se naglašena pravilnost promene ovog pokazatelja pri promeni razmaka između valjaka. Utvrđeno je da je izdvajanje endosperma najveće kod najmanjeg razmaka između valjaka, a najmanje kod najvećeg što potvrđuje naglašen porast sadržaja pepela sa smanjenjem razmaka između valjaka kod najkrupnije frakcije (gornjeg prelaza). Sličan trend prisutan je i na 2R u oba ispitivana postupka. Porast sadržaja pepela u najkrupnijoj frakciji mliva i smanjenje prinosa ove frakcije ukazuje da dolazi do povećanja udela čestica spoljašnjih slojeva zrna u ovoj frakciji, a da je smanjenje prinosa pre svega posledica osiromašenja u endospermu zbog njegovog povećanog usitnjavanja. Sa smanjenjem razmaka između valjaka 2R primetan je i porast sadržaja pepela u frakciji mliva 450/350  $\mu\text{m}$ , dok je sadržaj pepela ostalih frakcija relativno



ujednačen ili sa blagom promenom bez jednoznačnog trenda. Značajno je primetiti da, pri datom vođenju valjaka, sa smanjenjem krupnoće čestica brašna raste sadržaj pepela u brašnu, što ukazuje na veće prisustvo delića perifernih slojeva endosperma u poređenju sa najkrupnijom frakcijom brašna koju, sa obzirom da ima najniži sadržaj pepela, uglavnom čine čestice poreklom iz centralnih delova endosperma. Pomenuto je vrlo značajno sa stanovišta povećanja veličine otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna u cilju povećanja prinosa brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom.

Pri istom vođenju valjaka i istoj veličini otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna (bilo da je 132  $\mu\text{m}$  ili 224  $\mu\text{m}$ ) ne postoji statistički značajna razlika ( $p > 0.05$ ) u sadržaju pepela u brašnu dobijenom u klasičnom i postupku sa osmovaljnom stolicom (tab.55). Takođe ni kada se, pri istoj veličini otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna (132  $\mu\text{m}$  odnosno 224  $\mu\text{m}$ ), nižim vođenjem valjaka u postupku sa osmovaljnom stolicom smanjuje razlika ili se ostvaruje približno isti ukupni prinos brašna kao u klasičnom postupku (sl.43), ne postoji značajnija razlika u sadržaju pepela brašna dobijenog u pomenutim postupcima ( $p > 0,05$ ). Pri datom razmaku između valjaka, sa povećanjem veličine otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna (132-224-250  $\mu\text{m}$ ) smanjuje se sadržaj pepela u brašnu i ova promena jeste statistički značajna ( $p < 0,001$ ). Pomenuta činjenica je povoljna sa stanovišta primene osmovaljne stolice jer se i inače na povećanje prinosa brašna u ovom postupku osetnije može uticati korekcijama u delu prosejavanja mliva nego nižim vođenjem valjaka, pri čemu dobijeni rezultati pokazuju da dolazi i do izvesnog poboljšanja kvaliteta brašna. Svakako se pri odabiru odgovarajućeg sejnog tkiva mora imati u vidu namena brašna jer sa povećanjem veličine otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna raste i gornja granica krupnoće čestica brašna.

I ovde ostaje da se naknadnim ispitivanjima utvrdi stepen oštećenja skroba pri primeni osmovaljne stolice, a naročito kada se u cilju povećanja prinosa brašna ide sa nižim vođenjem valjaka u ovom postupku.

Raspodela sadržaja pepela u frakcijama mliva 1M i 2M u klasičnom odnosno 2M u postupku sa osmovaljnom stolicom kao i promena ovog pokazatelja sa smanjenjem razmaka između valjaka (tab.47-49) pokazuje trendove vrlo bliske onima u prethodnim etapama što je i razumljivo sa obzirom da se takođe radi o grizastom materijalu ali nešto sitnije granulacije. Sadržaj pepela najkrupnije frakcije mliva uočljivo je veći od sadržaja pepela u ostalim frakcijama (brašno različite krupnoće) i blago se povećava sa smanjenjem razmaka između valjaka, dok u ostalim frakcijama mliva ne dolazi do promene sadržaja

pepela sa nižim vođenjem valjaka. Ovo je i očekivano ako se ima u vidu priroda usitnjavanog materijala i uslovi usitnjavanja pri kojima dominiraju sile deformacije sabijanja i objašnjava se na isti način u skladu sa analizama sadržaja pepela u frakcijama mliva u prethodnim etapama.

Pri istom vođenju valjaka i istoj veličini otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna nema značajne razlike ( $p > 0.05$ ) u sadržaju pepela u brašnu u klasičnom i postupku sa osmovaljnom stolicom (tab.56). Niže vođenje valjaka kao i povećanje veličine otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom nema za posledicu promenu sadržaja pepela u brašnu ( $p > 0.05$ ). Ovo otvara prostor da se, bez pogoršanja kvaliteta brašna, na jedan ili kombinacijom pomenutih načina poveća prinos brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom i ostvare bliski ili čak i bolji efekti usitnjavanja (prinos i kvalitet brašna) u poređenju sa efektima usitnjavanja u klasičnom postupku.

I ovde se ističe da postoji potreba da se ispitivani postupci, pored sadržaja pepela u brašnu, međusobno uporede i po drugim kvalitativnim pokazateljima brašna.

Zapaža se da je sadržaj pepela u frakcijama mliva 5M i 6M značajno veći od sadržaja pepela frakcija mliva u prethodnim etapama, što je posledica većeg izdvajanja skrobnog dela iz pšenice (tab.50). Ovo je sasvim očekivano kada se ima u vidu da su u pitanju poslednja prolazišta mlevenja griza i osevaka, tako da je usitnjavani materijal već u dobroj meri osiromašen u endospermu (pretežno mekinjast materijal).

Uočava se da smanjenje razmaka između valjaka 5M prati rast sadržaja pepela u svim frakcijama mliva, za razliku od prethodnih etapa gde niže vođenje valjaka prati samo rast sadržaja pepela najkrupnije frakcije, pri čemu je ova promena relativno blaža u brašnu ( $< 150 \mu\text{m}$ ) što potvrđuje da se delići omotača, aleuronskog sloja i klice usitnjavaju u manjoj meri nego čestice endosperma (pretežno periferni delovi) što uzrokuje izraženiji porast sadržaja pepela u krupnijim frakcijama mliva u poređenju sa porastom sadržaja pepela u brašnu.

Raspodela sadržaja pepela u frakcijama mliva 6M u klasičnom postupku pokazuje trend sličan raspodeli sadržaja pepela u frakcijama mliva 5M. Pri datom razmaku najveći sadržaj pepela registrovan je u najkrupnijoj frakciji ( $> 350 \mu\text{m}$ ) i opada sa smanjenjem krupnoće. Ipak, poredeći sadržaj pepela frakcija mliva 5M i 6M iste krupnoće uočljivo je da je sadržaj pepela ekvivalentnih frakcija veći u mlivu 6M što je i očekivano sa obzirom na veći udeo mekinjastih čestica u mlivu 6M u odnosu na mlivo 5M što je posledica izdvajanja brašna sa 5M. Posebno je uočljiv znatno veći sadržaj pepela u brašnu 6M u odnosu na brašno 5M ( $p < 0.001$ ) što ukazuje na veće prisustvo mekinjastih čestica odnosno

nešto veći stepen usitnjavanja spoljašnjih slojeva zrna na 6M u odnosu na 5M. Sa smanjenjem razmaka između valjaka 6M u frakcijama mliva nema jednoznačnog trenda promene sadržaja pepela ili je promena u pravcu vrlo blagog porasta navedenog pokazatelja (tab.51).

Raspodela sadržaja pepela u frakcijama mliva 6M u postupku sa osmovaljnom stolicom pokazuje izvesne sličnosti sa raspodelom sadržaja pepela u frakcijama mliva 6M u klasičnom postupku. Pri datom vođenju valjaka, najveći sadržaj pepela registrovan je u najkrupnijoj frakciji ( $>350\ \mu\text{m}$ ) i opada sa smanjenjem krupnoće. Sadržaj pepela u frakcijama mliva 6M iste krupnoće je na sličnom nivou u oba postupka osim sadržaja pepela u brašnu koji je značajno niži u postupku sa osmovaljnom stolicom bez obzira da li se za odsejavanje brašna koristi rama sita sa veličinom otvora sejnog tkiva od  $150\ \mu\text{m}$  ili  $180\ \mu\text{m}$ . Prethodno je posledica činjenice da se u postupku sa osmovaljnom stolicom u brašnu nalaze i čestice brašna nastale nakon usitnjavanja na 5M koje, kao što je već i napomenuto, imaju značajno niži sadržaj pepela od čestica brašna nastalih na 6M u klasičnom postupku. Zamena sejnog tkiva sa veličinom otvora od  $150\ \mu\text{m}$  sa sejnim tkivom od  $180\ \mu\text{m}$  za posledicu ima porast sadržaja pepela u frakciji  $250/180\ \mu\text{m}$ , ali ne dovodi do porasta sadržaja pepela u brašnu što je posledica boljeg odsejavanja neodsejanih čestica brašna ( $<150\ \mu\text{m}$ ) prisutnih u frakciji  $250/180\ \mu\text{m}$ , a takođe ukazuje da su čestice brašna u intervalu veličina  $180/150\ \mu\text{m}$  po svojstvima bliske česticama brašna  $<150\ \mu\text{m}$  (tab.51-52). Ovo ipak ukazuje da se na poslednjim prolazištima mlevenja griza i osevaka mora pažljivo pristupiti korekcijama u delu prosejavanja mliva da promena ovog parametra nebi izazvala nepoželjne posledice po kvalitet brašna.

Pri istom vođenju valjaka i istoj veličini otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna ( $150\ \mu\text{m}$ ) sadržaj pepela u ukupnoj masi brašna nakon 6M u oba postupka je vrlo blizak (tab.57), odnosno ne postoji značajna razlika u ovom kvalitativnom pokazatelju efektivnosti usitnjavanja ( $p>0.05$ ). Kada se nižim vođenjem valjaka u postupku sa osmovaljnom stolicom (bez korekcija u delu prosejavanja mliva) smanjuje razlika ili postiže približno isti prinos brašna kao u klasičnom postupku (tab.37, sl.45) nije primećena razlika u sadržaju pepela u brašnu ( $p>0.05$ ). Takođe, nema bitnije razlike u sadržaju pepela u brašnu niti kada se u postupku sa osmovaljnom stolicom, promenom veličine otvora sejnog tkiva ( $180\ \mu\text{m}$  umesto  $150\ \mu\text{m}$ ), značajno povećava prinos brašna ( $p>0,05$ ). Prethodno pokazuje da se u postupku sa osmovaljnom stolicom, odgovarajućim vođenjem valjaka i prilagođavanjem veličine otvora sejnog tkiva za prosejavanje brašna mogu

ostvariti efekti usitnjavanja bliski onima u klasičnom postupku, pri čemu se nesme dozvoliti da promena nekog od ovih parametara prerade izazove neželjeno pogoršanje kvaliteta brašna.

Treba istaći da, iako između ispitivanih postupaka ne postoji značajna razlika u sadržaju pepela u ukupnoj masi brašna, rezultati pokazuju da se u klasičnom postupku dobijaju dva pasażna brašna značajno različita po sadržaju pepela (izvesno i drugim kvalitativnim svojstvima), dok se u postupku sa osmovaljnom stolicom pomenuta pasażna brašna mešaju i dobija se samo jedno pasażno brašno što u izvesnoj meri smanjuje fleksibilnost kod formiranja tipskih i namenskih brašna.

#### **4.5 UPOREDNA ANALIZA SPECIFIČNOG UTROŠKA ENERGIJE U KLASIČNOM I POSTUPKU SA OSMOVALJNOM STOLICOM**

Specifični utrošak energije može se izražavati kao ukupni, koji obuhvata utrošak energije za samo usitnjavanje kao i utrošak energije za održavanje određenog broja obrtaja valjaka Variostuhl-a, ili kao utrošak energije za samo usitnjavanje koji se izračunava na osnovu podataka o snazi pri radnom (u toku mlevenja) i praznom hodu Variostuhl-a kao i podataka o masenom protoku materijala. U ovom radu dato je poređenje specifičnog utroška energije za usitnjavanje u klasičnom i postupku sa osmovaljnom stolicom.

Na specifični utrošak energije za usitnjavanje značajno utiče odabrana merna jedinica. U sklopu ove disertacije, pomenuti pokazatelj obračunavan je po jedinici mase brašna. Specifični utrošak energije za usitnjavanje može se izraziti i po jedinici mase usitnjanog materijala. Na ovaj način izražen pokazatelj predstavljao bi utrošak energije za usitnjavanje i endosperma i spoljašnjih slojeva zrna. Obzirom da je osnovni zadatak tehnološkog postupka mlevenja pšenice, pored postizanja odgovarajućeg stepena usitnjavanja i naglašena selektivnost usitnjavanja, interes je da se usitnjavanje spoljašnjih slojeva zrna dešava u što je moguće manjoj meri. Pored toga osnovni kvantitativni pokazatelj efektivnosti usitnjavanja u fazi mlevenja griza i osevaka jeste prinos brašna. Pomenuti razlozi opredelili su nas da specifični utrošak energije za usitnjavanje obračunavamo po jedinici mase brašna jer se na taj način najbolje sagledava racionalnost postupka sa aspekta utroška energije što ima značajan uticaj na ekonomičnost rada mlina u celini. Pitanje utroška energije se danas u svetu sve oštrije postavlja, kako zbog

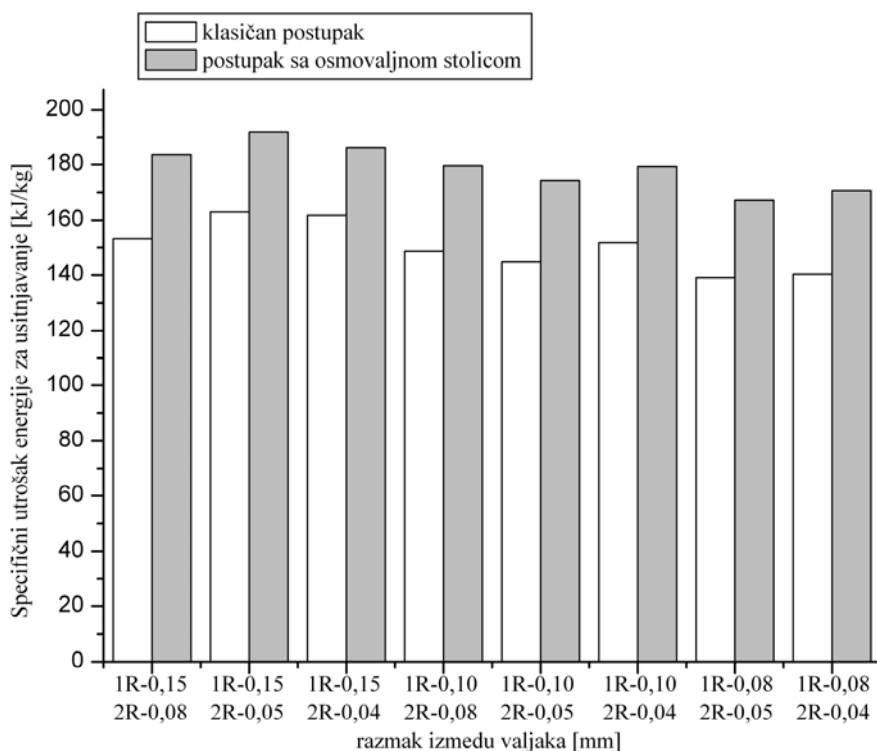
racionalnosti samog tehnološkog postupka mlevenja, tako i zbog toga što su industrijski mlinovi veliki potrošači energije, a posebno i zbog činjenice da je u savremenom svetu sve prisutniji deficit u energiji što za posledicu ima značajan porast cene energije. To sve značajno utiče na troškove proizvodnje u navedenim pogonima.

Variostuhl, kao laboratorijska valjna stolica, ima kratku valjnu dužinu što olakšava ravnomerno doziranje materijala u mlevni prostor po celoj dužini valjaka. Takođe, i polazni uzorci u navedenim etapama su dobre sipkosti (uglavnom se radi o uzorcima griza različite krupnoće i stepena čistoće) tako da se odgovarajuće specifično opterećenje valjaka može pouzdano reprodukovati što je vrlo važno pri očitavanju snage u radnom hodu Variostuhl-a.

Treba istaći da je, u radu sa laboratorijskom valjnom stolicom Variostuhl, praktično neizvodljivo da ista osoba dozira materijal, registruje početak i kraj usitnjavanja i očitava snagu utrošenu u praznom i radnom hodu Variostuhl-a, što povećava mogućnost greške, pre svega sa aspekta merenja vremena potrebnog za usitnjavanje. I pored toga, pažljivim radom i dobrom koordinacijom između osoba koje rade sa Variostuhl-om, dobijaju se pouzdani podaci, ali se ipak moraju posmatrati u svetlu opštih trendova.

Rezultati u prvoj etapi (tab.58, sl.46) pokazali su da je, pri istom vođenju valjaka i istoj veličini otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna, specifični utrošak energije za usitnjavanje redovno primetno veći u postupku sa osmovaljnom stolicom nego u klasičnom postupku pri čemu je ova razlika statistički značajna ( $p < 0.001$ ). Razlozi većeg specifičnog utroška energije u postupku sa osmovaljnom stolicom su pre svega manji prinos brašna pri prethodno pomenutim uslovima usitnjavanja griza i osevaka i prosejavanja mliva i nešto veće specifično opterećenje valjaka u odnosu na klasični postupak.

Obzirom da je specifični utrošak energije za usitnjavanje izražavan po jedinici mase brašna, činjenica da se u postupku sa osmovaljnom stolicom ostvaruje manji prinos brašna u poređenju sa klasičnim postupkom za rezultat ima veći specifični utrošak energije za usitnjavanje. Pomenuti odabir merne jedinice ima velik uticaj. Naime, čak i da je jedinična snaga valjaka ista u oba ispitivana postupka, na oba prolazišta mlevenja, zbog manjeg prinosa brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom specifični utrošak energije bio bi veći nego u klasičnom postupku. Pomenuta razlika specifičnog utroška energije bila bi manja da se ovaj pokazatelj obračunava po jedinici mase polaznog materijala.



**Sl.46 – Specifični utrošak energije za usitnjavanje nakon 2R (A1) u klasičnom i postupku sa osmovaljnom stolicom**

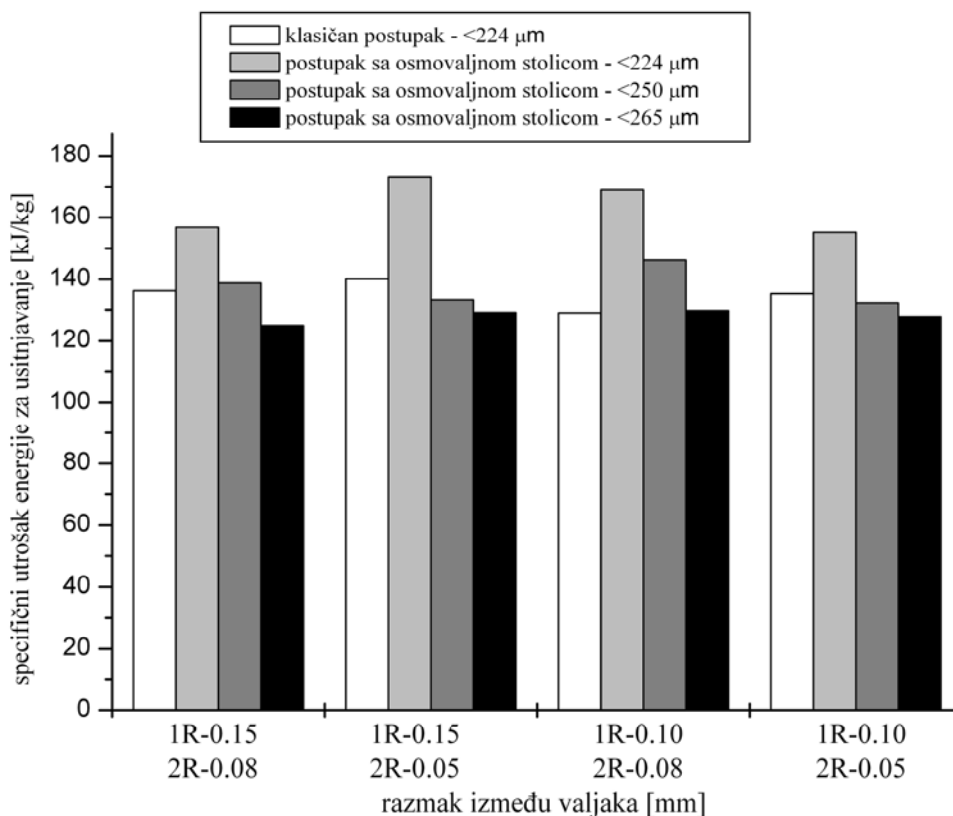
Specifično opterećenje valjaka 1R je isto u oba mlevna postupka. U klasičnom postupku, prosejavanjem mliva 1R, ostvaruje se određen izvod brašna tako da je specifično opterećenje valjaka 2R manje nego na 1R, srazmerno izdvojenoj masi brašna. Veće specifično opterećenje valjaka 2R za posledicu ima i nešto veću jediničnu snagu valjaka (u radnom hod) i uzrokuje veći specifični utrošak energije u postupku sa osmovaljnom stolicom. Pored toga, veće specifično opterećenje valjaka 2R uzrokuje i povećanu transformaciju mehaničke energije u toplotnu što za posledicu ima zagrevanje trupaca mlinskih valjaka i povećano zagrevanje mliva što povećava plastična svojstva usitnjavanog materijala (posebno brašna) i takođe značajno doprinosi manjoj efikasnosti usitnjavanja i većem specifičnom utrošku energije za usitnjavanje. Takođe, činjenica da u postupku sa osmovaljnom stolicom nema međuprosejavanja mliva, koje bi u izvesnoj meri doprinelo njegovom hlađenju usled prelaska dela toplote sa čestica mliva na vazduh pneumatskog transportnog sistema, dodatno doprinosi većoj temperaturi mliva i pomenutoj nepoželjnoj transformaciji oblika deformacije. Treba istaći da, pri simulaciji usitnjavanja u postupku sa osmovaljnom stolicom u našim laboratorijskim uslovima, nije dolazilo do zagrevanja mliva što je i razumljivo kada se ima u vidu da su uzorci usitnjavani diskontinualno pri

čemu je i vreme usitnjavanje vrlo kratko (15-23 sekunde). Naime, pri radu sa Variostuhl-om, pri simulaciji uslova usitnjavanja u postupku sa osmovaljnom stolicom, nakon prvog prolazišta mlevenja mlivo nije momentalno usitnjavano na drugom prolazištu mlevenja, a što se dešava u pogonskim uslovima. Shodno tome i pomenuti problemi mogu biti daleko izraženiji pri primeni osmovaljne stolice u industrijskim mlinovima odnosno može se očekivati čak i veća razlika u specifičnom utrošku energije za usitnjavanje u odnosu na relativan odnos ovog pokazatelja između ispitivanih postupaka dobijen u našim laboratorijskim uslovima.

Povećana transformacija mehaničke u toplotnu energiju i kao posledica toga nepoželjna promena oblika deformacije (prelaz elastičnih u plastične), prisutna je i u oblasti vrlo malih razmaka između valjaka. Pogotovo je pomenuto prisutno pri kombinaciji velikih specifičnih opterećenja valjaka i malih razmaka između valjaka. Deo mehaničke energije koji se transformiše u toplotnu je «jalovo» utrošena energija jer predstavlja deo energije koji se ne koristi za samo usitnjavanje materijala odnosno pri radu u tim uslovima značajno opada racionalnost utroška energije.

Veće specifično opterećenje valjaka drugog prolazišta mlevenja (bez obzira na etapu odnosno prolazišta mlevenja na kojima se angažuje osmovaljna stolica) je neminovnost primene osmovaljne stolice tako da jedini efikasan način za smanjenje specifičnog utroška energije u ovom postupku jeste povećanje prinosa brašna. Prethodno u diskusiji je već istaknuto da u cilju povećanja prinosa brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom, ne treba ići u područje ekstremno malih razmaka između valjaka, već navedeno treba rešavati korekcijama u delu prosejavanja mliva ili kombinacijom korekcija u delu prosejavanja mliva i nešto nižim vođenjem valjaka.

Rezultati druge etape takođe su potvrdili da je, pri istom vođenju valjaka i istoj veličini otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna, specifični utrošak energije za usitnjavanje veći u postupku sa osmovaljnom stolicom nego u klasičnom postupku (tab.59, sl.47). Povećanjem veličine otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna, a time i izvoda brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom, smanjuje se specifični utrošak energije za usitnjavanje koji dolazi na nivo relativno blizak utrošku energije u klasičnom postupku pa čak i niži što, uzimajući u obzir sve prednosti primene osmovaljne stolice, doprinosi daljoj racionalizaciji tehnološkog postupka mlevenja pšenice. I ovde se nesme izgubiti iz vida da li će i na koji način korekcija u delu prosejavanja mliva uticati na kvalitativna svojstva brašna.



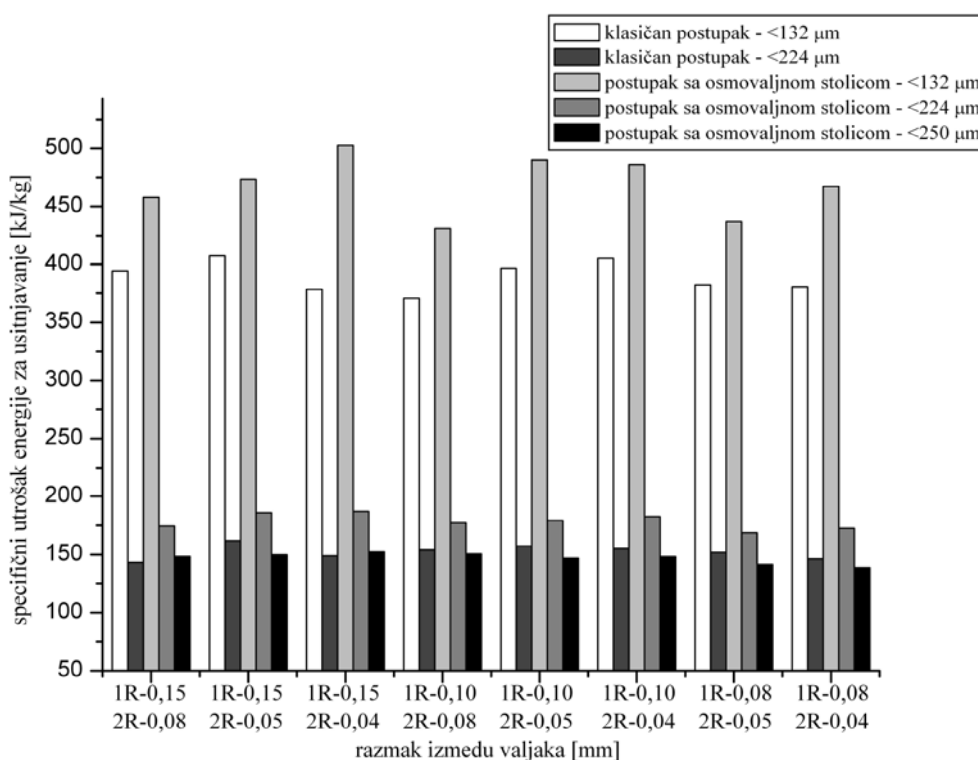
#### Sl.47 – Specifični utrošak energije za usitnjavanje nakon 2R (A2) u klasičnom i postupku sa osmovaljnom stolicom

Relativno ujednačeni specifični trošci energije za usitnjavanje u datom opsegu promene razmaka između valjaka (pri istoj veličini otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna) mogu se objasniti porastom efikasnosti usitnjavanja što se manifestuje kroz porast prinosa brašna sa smanjenjem razmaka između valjaka iako je uobičajeno da sa smanjenjem razmaka valjaka raste jedinična snaga valjaka. Očigledno je da je uticaj porasta prinosa brašna na smanjenje specifičnog utroška energije za usitnjavanje srazmeran uticaju povećanja jedinične snage valjaka na povećanje ovog pokazatelja tako da on ostaje relativno ujednačen.

Trend relativnog odnosa specifičnog utroška energije za usitnjavanje u ispitivanim postupcima, registrovan u prve dve etape, primetan je i u ostalim etapama. U kojoj meri će povećanje veličine otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna uticati na smanjenje specifičnog utroška energije za usitnjavanje zavisi od toga koliko ova korekcija utiče na povećanje prinosa brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom.



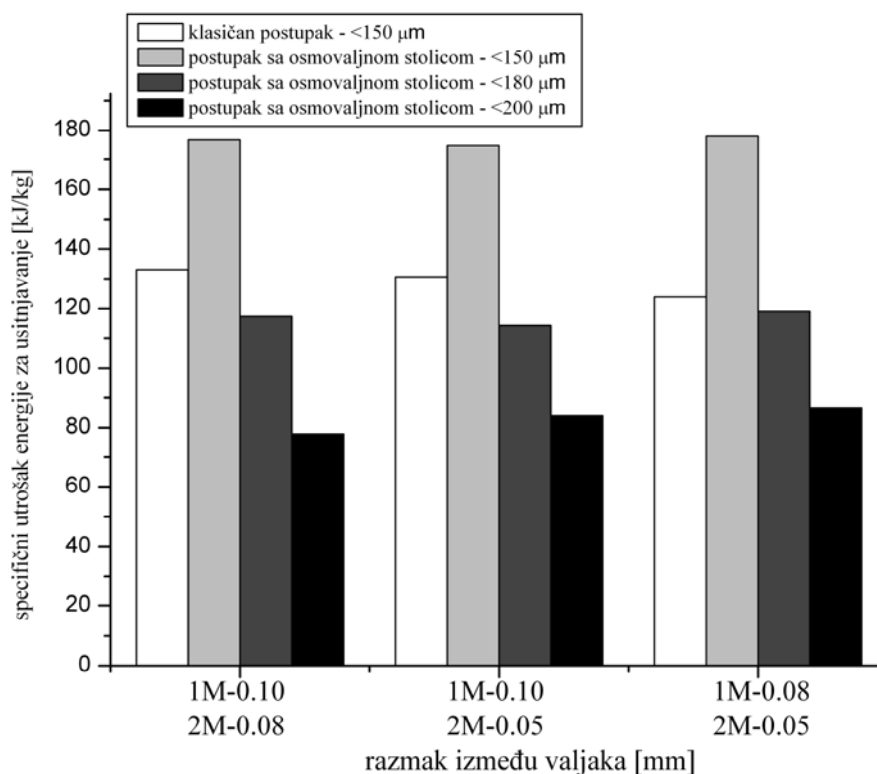
I u trećoj etapi, pri istom vođenju valjaka i istoj veličini otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna (132  $\mu\text{m}$  ili 224  $\mu\text{m}$ ) u klasičnom i postupku sa osmovaljkom, specifični utrošak energije značajno je veći u postupku sa osmovaljnom stolicom ( $p < 0.001$ ) (tab.60, sl.48). Povećanje veličine otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna sa 132  $\mu\text{m}$  na 224  $\mu\text{m}$ , u oba ispitivana postupka, doprinosi izraženom smanjenju specifičnog utroška energije, ali relativan odnos ovog pokazatelja između dva postupka se ne menja. Povećanjem veličine otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna, a time i povećanjem izvoda brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom, smanjuje se specifični utrošak energije za usitnjavanje koji dolazi na nivo relativno blizak, pa čak i nešto niži, utrošku energije u klasičnom postupku.



**Sl.48 – Specifični utrošak energije za usitnjavanje nakon 2R (B3) u klasičnom i postupku sa osmovaljnom stolicom**

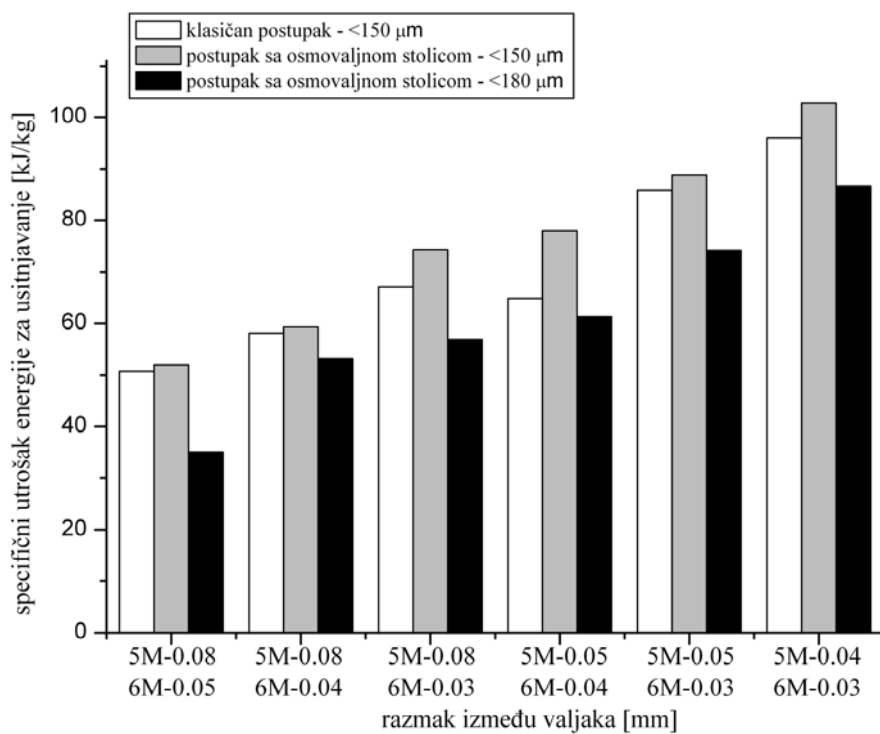
Rezultati četvrte etape (tab.61, sl.49) takođe potvrđuju zapažanja iz prethodnih etapa. Uočljivo je da se primenom sejnog tkiva sa veličinom otvora  $> 150 \mu\text{m}$ , na kome se u postupku sa osmovaljnom stolicom brašno izdvaja kao propad, smanjuje specifični utrošak energije po jedinici mase brašna. Pri upotrebi sita sa veličinom otvora sejnog tkiva od 180  $\mu\text{m}$  u postupku sa osmovaljnom stolicom, specifični utrošak energije u oba

ispitivana postupka je relativno blizak. Sa daljim povećanjem veličine otvora sejnog tkiva na 200  $\mu\text{m}$ , specifični utrošak energije za usitnjavanje u postupku sa osmovaljnom stolicom je čak i primetno manji u poređenju sa klasičnim postupkom. Obzirom na obrnuto srazmeran odnos, izraženo smanjenje specifičnog utroška energije pri upotrebi sejnog tkiva od 200  $\mu\text{m}$  posledica je značajno većeg izvoda brašna sa obzirom da je jedinična snaga valjaka ne promenjena.



#### Sl.49– Specifični utrošak energije za usitnjavanje nakon 2M u klasičnom i postupku sa osmovaljnom stolicom

Specifični utrošak energije za usitnjavanje nakon 6M, pri istom vođenju valjaka 5M i 6M i pri prosejavanju mliva na istom slogu sita je gotovo isti ili za nijansu veći u postupku sa osmovaljnom stolicom nego u klasičnom postupku (tab.62, sl.50). U petoj etapi u poređenju sa ostalim etapama, razlika u specifičnom utrošku energije za usitnjavanje u ispitivanim postupcima je daleko manje izražena iako je i dalje statistički značajna ( $p < 0,05$ ). Povećanjem veličine otvora sejnog tkiva na kome se brašno izdvaja kao propad (180  $\mu\text{m}$  umesto 150  $\mu\text{m}$ ), specifični utrošak energije po jedinici mase brašna opada čime se dalje ide u pravcu racionalizacije tehnološkog postupka mlevenja.



**Sl.50– Specifični utrošak energije za usitnjavanje nakon 6M u klasičnom i postupku sa osmovaljnom stolicom**

Ipak, na prolazištima mlevenja koja obrađuju materijal drugog kvaliteta mora se posebno voditi računa da ove promene u delu prosejavanja mliva ne dovedu do pogoršanja kvaliteta brašna.

## 5.0 ZAKLJUČCI

Na osnovu diskusije eksperimentalnih rezultata ispitivanja iznetih u ovoj disertaciji može se zaključiti sledeće:

- Na svim ispitivanim prolazištima mlevenja griza i osevaka, granulacioni sastav mliva, u klasičnom i postupku sa osmovaljnom stolicom, veoma zavisi od razmaka između valjaka. Ispitivani postupci ne razlikuju se značajnije po opštem trendu promene granulacionog sastava mliva sa promenom navedenog parametra usitnjavanja. Sa smanjenjem razmaka između valjaka smanjuje se prinos krupnijih frakcija mliva, a povećava prinos brašna.
- Na svim ispitivanim prolazištima u fazi mlevenja griza i osevaka, pri istom razmaku između valjaka i istoj veličini otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna, ukupan prinos brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom manji je nego u klasičnom postupku. Pomenuta razlika varira u zavisnosti od uzorka i prolazišta mlevenja (A1: 3,3-6,1 %; A2: 2,2-3,6 %; B3: 1,1-2,7 %; B4: 5,3-7,8 %; B5: 4,2-5,9 %) ali je uvek statistički značajna. Manji prinos brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom prevashodno je posledica preusmeravanja dela sila deformacije u mlevnom prostoru na usitnjavanje prisutnih čestica brašna (daleko manje izraženo u klasičnom postupku) i ne dovoljne odsejanosti brašna (posledica značajno većeg masenog udela brašna u mlivu koje dolazi na prosejavanje u odnosu na klasičan postupak).
- Nižim vođenjem valjaka u postupku sa osmovaljnom stolicom, u poređenju sa razmacima između valjaka u klasičnom postupku, u zavisnosti od uzorka i prolazišta mlevenja se smanjuje razlika, dostiže ili prevazilazi prinos brašna u odnosu na klasičan postupak. Treba izbegavati područje izrazito malih razmaka između valjaka jer se, usled promene oblika deformacije, smanjuje efikasnost usitnjavanja i troši ne srazmerno više energije. Razmak između valjaka treba odabirati u skladu sa svojstvima materijala koji se usitnjava i željenim efektima usitnjavanja na datim prolazištima mlevenja.

- Pri istom vođenju valjaka, na svim prolazištima mlevenja griza i osevaka u ispitivanim postupcima, povećanjem veličine otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna značajno se povećava prinos brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom, pri čemu se pri odabiru sejnog tkiva u obzir mora uzeti i veličina svetlog otvora. Odabirom odgovarajuće veličine otvora sejnog tkiva može se i prevazići prinos brašna u klasičnom postupku. Na ovaj način pospešuje se prosejavanje neodsejanog brašna, ali istovremeno i povećava gornja granica krupnoće čestica brašna tako da se mora imati u vidu da li i na koji način ova promena utiče na svojstva brašna (sadržaj pepela, granulacija i dr.) imajući u vidu njegovu namenu.
- Na povećanje prinosa brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom može se značajnije uticati povećanjem veličine otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna nego nižim vođenjem valjaka. Optimalno rešenje pri primeni osmovaljne stolice treba naći u usklađivanju vođenja valjaka i uslova prosejavanja mliva u cilju dobijanja što većeg prinosa brašna zadovoljavajućeg kvaliteta.
- Na svim ispitivanim prolazištima mlevenja griza i osevaka, trend raspodele sadržaja pepela po frakcijama mliva i pravilnost promene ovog pokazatelja pri smanjenju razmaka između valjaka, relativno su slični u oba ispitivana mlevna postupka. Sa smanjenjem razmaka između valjaka raste sadržaj pepela krupnijih frakcija mliva, dok je sadržaj pepela u brašnu i sitnijim frakcijama griza ujednačen ili sa blagom promenom bez jednoznačnog trenda.
- Na svim ispitivanim prolazištima mlevenja griza i osevaka, u opsegu primenjenih intervala razmaka između valjaka i veličina otvora sejnih tkiva za odsejavanje brašna, praktično ne postoje razlike u sadržaju pepela u ukupnoj masi brašna u klasičnom i postupku sa osmovaljnom stolicom. Niže vođenje valjaka i/ili povećanje veličine otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna, pri primeni osmovaljne stolice, nema za posledicu pogoršanje kvaliteta brašna (po pitanju sadržaja pepela) u odnosu na klasičan postupak.
- Zbog manjeg broja pasažnih brašna, primena osmovaljne stolice u izvesnoj meri smanjuje fleksibilnost pri formiranju finalnih proizvoda mlevenja (tipska i namenska brašna).

- Na prolazištima prvog kvaliteta u fazi mlevenja griza i osevaka ne postoje značajnije razlike u sadržaju pepela između pasažnih brašna dobijenih u klasičnom postupku, kao ni u odnosu na pasažno brašno dobijeno u postupku sa osmovaljnom stolicom. Na prolazištima drugog kvaliteta (poslednja) u pomenutoj fazi tehnološkog postupka ova razlika je primetna.
  
- Specifični utrošak energije za usitnjavanje po jedinici mase brašna, pri istom vođenju valjaka i istoj veličini otvora sejnog tkiva za odsejavanje brašna, veći je u postupku sa osmovaljnom stolicom nego u klasičnom postupku. Povećanjem izvoda brašna u postupku sa osmovaljnom stolicom, značajno se smanjuje specifični utrošak energije za usitnjavanje. U zavisnosti od svojstava materijala koji se usitjava, prolazišta mlevenja, razmaka između valjaka i primenjenih sejnih tkiva za odsejavanje brašna, specifični utrošak energije za usitnjavanje dolazi na nivo blizak utrošku energije u klasičnom postupku ili i niži. Smanjenje specifičnog utroška energije bitno doprinosi racionalizaciji tehnološkog postupka mlevenja pšenice.
  
- Uključivanjem osmovaljne stolice u tehnološki postupak mlevenja pšenice ostvaruju se višestruke investicione, energetske i operativne uštede u odnosu na klasičan postupak što značajno doprinosi smanjenju troškova odnosno racionalizaciji proizvodnje brašna. Mogućnost ostvarenja bliskih efekata usitnjavanja u fazi mlevenja griza i osevaka, u klasičnom i postupku sa osmovaljnom stolicom, ukazuje da je za dalju racionalizaciju savremenog tehnološkog postupka mlevenja pšenice neophodno uključivanje osmovaljne stolice.

## 6.0 LITERATURA

1. Bass, E.J. (1988). Wheat flour milling. In Y. Pomeranz (Ed.), *Wheat: Chemistry and Technology* (Vol.2, 3<sup>rd</sup> edition, pp. 1-68). St.Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists.
2. Sudgen, T.D., Osborne, B.G. (2001). Wheat flour milling. In D.A.V. Dendy, and B.J. Dobraszczyk (Eds.), *Cereals and Cereal Products: Chemistry and Technology* (pp. 140-181). New York, Aspen Publishers.
3. Owens, W.G. (2001). Wheat, corn and coarse grains milling. In W.G. Owens (Ed.), *Cereals Processing Technology* (pp. 27-52). Cambridge, Woodhead Publishing Ltd.
4. Baltensperger, W. (1993). New Development in the Mill Flow Charts Grinding Process Using Eight-Roller Mills, *Association of Operative Millers-Bulletin (December)*, 6327-6332.
5. Wanzenried, H. (1991). Benefits and results with 8-roller mill, model MDDL, *Association of Operative Millers-Bulletin (December)*, 5977-5981.
6. Tegeler, V.C. (1999). Eight-High Roller Mills vs. Four-High Roller Mills The Pros and Cons, *Association of Operative Millers-Bulletin (February)*, 7229-7230.
7. Schroeder, E., Buckley, E. (2004). A review of the newest advances in milling technology, *World Grain (September)*, 65-71.
8. Posner, E.S., Hibbs, A.N. (2005). *Wheat Flour Milling*. Minnesota, American Association of Cereal Chemists.
9. Zwingelberg, H. (1998). Verschiedene Walzenstuhlbeschüttungen und deren Auswirkungen auf Produkthanfall und Mineralstoffgehalt Teil 2: Versuche an nicht geputztem Grieß als Einzel- und Doppelvermahlung, *Die Mühle + Mischfuttertechnik, Heft 20*, 649-654.
10. Zwingelberg, H., Arzt, B. (1998). Verschiedene Walzenstuhlbeschüttungen und deren Auswirkungen auf Produkthanfall und Mineralstoffgehalt Teil 1: Versuche beim I. Schrot und als Doppelvermahlung beim I. Und II. Schrot, *Die Mühle + Mischfuttertechnik, Heft 18*, 593-595.
11. Handreck, B., Pötschke, L., Senge, Ch. (1999). Intensives Aufschrotten von Weizen im Achtwalzenstuhl, *Die Mühle + Mischfuttertechnik, Heft 26*, 818-826.

12. Tanović, G. (1986). Prilog proučavanju parametara usitnjavanja pri krupljenju domaće pšenice, Doktorska disertacija, Novi Sad.
13. Curran, S., Eustace, W., Gwartz, J. (1994). The effect of cloth tension on sifting performance, *Association of Operative Millers-Bulletin (May)*, 6379-6381.
14. Wingfield, J., Ferrer, A. (1984). Multiple sieve sifter performance using various combinations of feed rates, circles and speeds, *Journal of Food Process Engineering*, 7, 91-110.
15. Haque, E. (1991). Application of Size Reduction Theory to Roller Mill Design and Operation, *Cereal Foods World*, 36, 368-374.
16. Holdich, R.G. (2002). *Fundamentals of Particle Technology*, Leicestershire, Midland Information Technology and Publishing.
17. Earle, R.L. (1983). *Unit operations in food processing – 2nd ed.*, Oxford, Pergamon Press.
18. Rittinger, P. (1867). *Lehrbruch der Aufbreitungskunde*, Berlin. (cit. prema Ястребов, П.П., 1973).
19. Kick, F. (1855). *Das Gesetz, der Proportionalen Widerstände und seine Anwendungen*, Leipzig. (cit. prema Ястребов, П.П., 1973).
20. Кирпичев, В.Л. (1874). О подобии при упругих явлениях, *Журнал Русского химического и физического общества*. (cit. prema Ястребов, П.П., 1973).
21. Ястребов, П.П. (1973). *Использование и нормирование ц электроэнергии в процессах переработки и хранения хлебных культур*, Москва, Колос.
22. Ребиндер, П.А. (1947). *Физико-химические исследования процессов деформации твердости*, Юбилейный сборник АН СССР. (cit. prema Ястребов, П.П., 1973).
23. Evers, A.D., Bechtel, D.B. (1988): Microscopic structure of the wheat grain. In Y. Pomeranz (Ed.), *Wheat: Chemistry and Technology* (Vol.2, 3<sup>rd</sup> edition, pp.47-92). St.Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists.
24. Pomeranz, Y. (1983). Struktura zrna i karakteristike finalne upotrebe, *Žito-hleb*, 10, 77-132.
25. Mabile, F., Abecassis, J. (2003). Parametric modelling of wheat grain morphology: a new perspective, *Journal of Cereal Science*, 37, 43-53.
26. Evers, T., Millar, S. (2002). Cereal grain structure and development: some implications for quality, *Journal of Cereal Science*, 36, 261-284.
27. Bremner, P.M., Rawson, H.M. (1978). The weights of individual grains of the wheat ear in relation to their growth potential, the supply of assimilate and interaction



- between grains, *Australian Journal of Plant Physiology*, 5, 61-72 (citirano prema: Evers, T., Millar, S., 2002).
28. Kent, N.L. (1975). *Technology of Cereals*, Oxford, Pergamon press.
  29. Егоров, Г.А. (1973). *Влияние тепла и влаги на процессы переработки и хранения зерна*, Москва, Колос.
  30. Posner, E.S. (1985). The Technology of wheat germ separation in flour mills, *Association of Operative Millers-Bulletin (October)*, 4577-4592.
  31. Šenborn, A. (1973). *Tehnologija brašna-Mlinarstvo*, Tehnološki fakultet Novi Sad, Novi Sad.
  32. Lineback, D.R., Cashman, W.E., Hosney, R.C., Ward, A.B. (1978). Note on measuring thickness of wheat bran by scanning electron microscopy, *Cereal Chemistry*, 55, 415-419.
  33. Crewe, J., Jones, C.R. (1951). The thickness of wheat bran, *Cereal Chemistry*, 28, 40-49.
  34. Егоров, Г.А. (1985). *Технологические свойства зерна*, Москва, Агропромиздат.
  35. Pomeranz, Y. (1988). Chemical composition of kernel structure. In Y. Pomeranz (Ed.), *Wheat Chemistry and Technology* (Vol.2, 3<sup>rd</sup> edition, pp.97-158). St.Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists.
  36. Peyron, S., Mabilhe, F., Devaux, M.F., Autran, J.C. (2003). Influence of structural characteristics of aleurone layer on milling behavior of durum wheat, *Cereal Chemistry*, 80, 62-67.
  37. Yiu, S.H. (1989). Cereal structure and its relationship to nutritional quality, *Food Microstructure*, 8, 99-113.
  38. Turnbull, K.M., Rahman, S. (2002). Endosperm texture in wheat, *Journal of Cereal Science*, 36, 327-337.
  39. Edwards, M.A., Osborne, B.G., Henry, R.J. (2008). Effect of endosperm starch granule size distribution on milling yield in hard wheat, *Journal of Cereal Science*, 48, 180-192.
  40. Егоров, Г.А. (1977). *Технология переработки зерна*, Москва, Колос.
  41. Barlow, K.K., Buttrose, D.H., Simmonds, D.H., Vesik, M. (1973). The nature of the starch-protein interface in wheat endosperm, *Cereal Chemistry*, 50, 443-454.
  42. Arnold, P.C., Roberts, A.W. (1966). Stress distributions in loaded wheat grains, *Journal of agriculture engineering research*, 11, 38-43.

43. Мерко, И.Т. (1985). *Технология мукомольного и крупяного производства*, Москва, Агропромиздат.
44. Glenn, G.M., Johnston, R.K. (1992). Moisture dependant changes in the mechanical properties of isolated wheat bran, *Journal of Cereal Science*, 15, 223-236.
45. Peyron, S., Chaurand, M., Rouau, X., Abecassis, J. (2002). Relationship between bran mechanical properties and milling behaviour of durum wheat. Influence of tissue thickness and cell wall structure, *Journal of Cereal Science*, 36, 377-386.
46. Pomeranz, Y., Peterson, C.J., Mattern, P.J. (1985). Hardness of winter wheats grown under widely different climatic conditions, *Cereal Chemistry*, 62, 463-467.
47. Haddad, Y., Mabilie, F., Mermet, A., Abecassis, J., Benet, J.C. (1999). Rheological properties of wheat endosperm with a view in grinding behaviour, *Powder Technology*, 105, 89-94.
48. Stenvert, N.L., Kingswood, K. (1977). The influence of the physical structure of the protein matrix on wheat hardness, *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 28, 11-19.
49. Sadowska, J., Jelinski, T., Fornal, J. (1999). Comparison of microstructure of vitreous and mealy kernels of hard and soft wheat, *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 8, 3-15.
50. Al Saleh, A., Marion, D, Gallant, D.J. (1986). Microstructure of mealy and vitreous wheat endosperms with special reference to location and polymorphic behaviour of lipids, *Food Microstructure*, 5, 131-140.
51. Dexter, J.E., Marchylo, B.A., MacGregor, A.W., Tkachuk, R. (1989). The structure and protein composition of vitreous, piebald, and starchy durum wheat kernels, *Journal of Cereal Science*, 10, 19-32.
52. Dexter, J.E., Edwards, N.M. (2001). The implications of frequently encountered grading factors on the processing quality of durum wheat, *Technica Molitoria*, 58, 553-566.
53. Samson, M.F., Mabilie, F., Cheret, R., Abecassis, J., Morel, M.H. (2005). Mechanical and physicochemical characterization of vitreous and mealy durum wheat endosperm, *Cereal Chemistry*, 82, 81-87.
54. Dobraszczyk, B.J. (1994). Fracture mechanics of vitreous and mealy endosperm, *Journal of Cereal Science*, 19, 273-282.
55. Ајзикович, Л., Хорцев, Б. (1968). *Технология производства муки*, Колос, Москва. (cit. prema Tanović, G., 1986).

56. Tschiersch, R. (1982). Zerkleinerung von Nahrungs-und Futtergetreide in Walzenstühlen, Veb Fachbuchverlag, Leipzig. (cit. prema Tanović, G., 1986).
57. Glenn, G., Johnston, R. (1992). Mechanical properties of starch, protein and endosperm and their relationship to hardness in wheat, *Food Structure*, 11, 187-199.
58. Greenwell, P., Schofield, J.D. (1986). A starch granule protein associated with endosperm softness in wheat, *Journal of Cereal Science*, 63, 379-380.
59. Piot, O., Autran, J.C., Manfait, M. (2001). Investigation by confocal raman microspectroscopy of the molecular factors responsible for grain cohesion in the *Triticum aestivum* bread wheat. Role of the cell walls in the starchy endosperm, *Journal of Cereal Science*, 34, 191-205.
60. Topin, V., Radjai, F., Delenne, J.Y., Sadoudi, A., Mabilie, F. (2008). Wheat endosperm as a cohesive granular material, *Journal of Cereal Science*, 47, 347-356.
61. Topin, V., Radjai, F., Delenne, J.Y., Mabilie, F. (2009). Mechanical modeling of wheat hardness and fragmentation, *Powder Technology*, 190, 215-220.
62. Dobraszczyk, B.J., Whitworth, M.B., Vincent, J.F.V., Khan, A.A. (2002). Single kernel wheat hardness and fracture properties in relation to density and the modelling of fracture in wheat endosperm, *Journal of Cereal Science*, 35, 245-263.
63. Hosney, R.C., Seib, P.A. (1973). Structural differences in hard and soft wheat, *Bakers Digest*, 47, 26-28 i 56.
64. Simmonds, D.H. (1974). Chemical basis of hardness and vitreosity in the wheat kernel, *Bakers Digest*, 48, 16-29 i 63.
65. Wang, L., Jeronimidis, G. (2008). Investigation of the fracture mode for hard and soft wheat endosperm using the loading-unloading bending test, *Journal of Cereal Science*, 48, 193-202.
66. Davis, A.B., Eustace, W.D. (1984). Scanning electron microscope views of material from various stages in the milling of hard red winter, soft red winter, and durum wheat, *Cereal Chemistry*, 61, 182-186.
67. Tanović G., Bret R., Đurin Z. (1978): Ispitivanje uzajamnog uticaja strukturno-mehaničkih osobina pšenice i razmaka između valjaka na efekte I krupljenja, *Žito-hleb*, 5, 8-23.
68. Tanović, G. (1980). Zavisnost efekata krupljenja od međusobnog usklađivanja žlebova valjaka i strukturno-mehaničkih osobina pšenice, Magistarski rad, Novi Sad.
69. Tanović G., Đurin Z. (1981). Zavisnost efekata krupljenja Novosadske rane 2 od uzajamnog položaja žlebova valjaka prvih prolazišta krupljenja. *Žito-hleb*, 8, 3-13.

70. Tanović G., Đurin Z. (1982). Zavisnost efekata krupljenja pšenice od uzajamnog položaja žlebova valjaka prvih prolazišta krupljenja, *Žito-hleb*, 9, 11-19.
71. Fang, C., Campbell, G.M. (2002). Stress-strain analysis and visual observation of wheat kernel breakage during roller milling using fluted rolls. *Cereal Chemistry*, 79, 511-517.
72. Fang, C., Campbell, G.M. (2002). Effect of roll fluting disposition and roll gap on breakage of wheat kernels during first-break roller milling. *Cereal Chemistry*, 79, 518-522.
73. Fang, C., Campbell, G.M. (2003). On predicting roller milling performance IV: Effect of roll disposition on the particle size distribution from first break milling of wheat. *Journal of Cereal Science*, 37, 21-29.
74. Campbell, G.M., Fang, C. & Muhamad, I.I. (2007). On predicting roller milling performance VI: Effect of Kernel Hardness and Shape on the Particle Size Distribution from First Break Milling of Wheat, *Food and Bioproducts Processing*, 85, 7-23.
75. MacRitchie, F. (1980). Physiochemical aspects of some problems in wheat research. In Y. Pomeranz (Ed.), *Advances in Cereal Science and Technology* (Vol. III, pp. 271-326). St.Paul, Minesota, American Association of Cereal Chemists.
76. Greffeulle, V., Abecassis, J. Barouh, N., Villeneuve, P. Mabilie, F., Bar Helgouac'h, C., Lullien-Pellerin, V. (2007). Analysis of the milling reduction of bread wheat farina: Physical and biochemical characterisation, *Journal of Cereal Science*, 45, 97-105.
77. Zwingelberg, H. (1980). Untersuchungen über den Energieaufwand in Mühlenbetrieben, *Getreide Mehl und Brot*, 34, 57-60.
78. Kilborn, R.H., Black, H.C., Dexter, J.E., Martin, D.G. (1982). Energy consumption during flour milling: description of two measuring systems and the influence of wheat hardness on energy requirements, *Cereal Chemistry*, 59, 284-288.
79. AACC Method 55-30 Particle Size Index for Wheat Hardness.
80. AACC Method 39-70A Near-Infrared Reflectance Method for Hardness Determination in Wheat.
81. AACC Method 55-31 Single-Kernel Characterization System for Wheat Kernel Texture.

82. Shellenberger, J.A. (1980). Advances in milling technology. In Y. Pomeranz (Ed.), *Advances in Cereal Science and Technology*. (Vol. III, pp. 227-270). St.Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists.
83. Hsieh, F.H., Martin, D.G., Black, H.C., Tipples, K.H. (1980). Some factors affecting the first break grinding of Canadian wheat, *Cereal Chemistry*, 57, 217-223.
84. Fang, C., Campbell, G.M. (2003). On predicting roller milling performance V: Effect of moisture content on the particle size distribution from first break milling of wheat. *Journal of Cereal Science*, 37, 31-41.
85. Мерко, И.Т. (1979). *Совершенствование технологических процессов сортового помола пшеницы*, Москва, Колос.
86. Nelson, P.N., McDonald, C.E. (1977). Properties of wheat flour protein in flour from selected mill streams, *Cereal Chemistry*, 54, 1182-1191.
87. Ciacco, C.F., D'Appolonia, B.L. (1982). Characterization and gelling capacity of water-soluble pentosans isolated from different mill streams, *Cereal Chemistry*, 59, 163-166.
88. Prabhasankar, P., Haridas Rao, P. (1999). Lipids in wheat flour streams, *Journal of Cereal Science*, 30, 315-322.
89. Prabhasankar, P., Sudha, M.L., Haridas Rao, P. (2000). Quality characteristics of wheat flour milled streams, *Food Research International*, 33, 381-386.
90. Prabhasankar, P., Vijaya Kumar, M., Lokesh, B.R., Haridas Rao, P. (2000). Distribution of free lipids and their fractions in wheat flour milled streams, *Food Chemistry*, 71, 97-103.
91. Rani, K.U., Prasada Rao, U.J.S., Leelavathi, K., Haridas Rao, P. (2001). Distribution of enzymes in wheat flour mill streams, *Journal of Cereal Science*, 34, 233-242.
92. Jensen, S.V.A., Munck, L., Martens, H. (1982). The botanical constituents of wheat and wheat milling fractions. I. Quantification by autofluorescence, *Cereal Chemistry*, 59, 477-484.
93. Peyron, S., Surget, A., Mabile, F., Autran, J.C., Rouau, X., Abecassis, J. (2002). Evaluation of tissue dissociation of durum wheat grain generated by the milling process, *Journal of Cereal Science*, 36, 199-208.
94. Antoine, C., Peyron, S., Lullien-Pellerin, V., Abecassis, J., Rouau, X. (2004). Wheat bran tissue fractionation using biochemical markers, *Journal of Cereal Science*, 39, 387-393.

95. Scanlon, M.G. & Dexter, J.E. (1986). Effect of Smooth Roll Grinding Conditions on Reduction of Hard Red spring Wheat Farina, *Cereal Chemistry*, 63, 431-435.
96. Scanlon, M.G., Dexter J.E. & Biliaderis, C.G. (1988). Particle-Size Related Physical Properties of Flour Produced by Smooth Roll Reduction of Hard Red Spring Wheat Farina, *Cereal Chemistry*, 65, 486-492.
97. Scanlon, M.G. & Lamb, J. (1995). Fracture mechanisms and particle shape formation during size reduction of a model food material, *Journal of Material Science*, 30, 2577-2583.
98. Campbell, G.M., & Webb, C. (2001). On predicting roller milling performance Part I: The breakage equation, *Powder Technology*, 115, 234-242.
99. Campbell, G.M., Bunn, P.J., C.Webb, C., & Hook, S.C.W. (2001). On predicting roller milling performance Part II: The breakage function, *Powder Technology*, 115, 243-255.
100. Fistes A., Tanovic, G. (2006). Predicting the size and compositional distributions of wheat flour stocks following first break roller milling using the breakage matrix approach, *Journal of Food Engineering*, 75, 527-534.
101. Tanović, G., Jovičić M. (1988). Ispitivanje uticaja razmaka između valjaka na učinak mlevenja okrajaka, *Žito-hleb*, 15, 61-68.
102. Perry, R.H., and Chilton, C.H. (1973). *Chemical Engineer's Handbook (5th ed.)*. New York, NY: McGraw-Hill.
103. Schumacher, F. (1967). Technical aspects of grinding with roller mills, *Association of Operative Millers-Bulletin (January)*, 2956-2957.
104. Куприц, J. (1965). *Технология переработки зерна*, Москва, Колос. (cit. prema Tanović, G., 1986).
105. Наумов, И.А., Маслов, И.Н. (1964). Влияние окружной скоростей вращения валков на измельчение зерна и расход энергии, *Мукомольно-элеваторная промышленность*, 1, 7.
106. Айзикович, Л.Е. (1975). *Физико-химические основы технологии производства муки*, Москва, Колос.
107. Knauff, O. (1981). *Die Mühle*, 16, 225. (cit. prema Tanović, G., 1986).
108. Fistes, A., Tanovic, G. (2007). Effect of Smooth Roll Grinding Conditions on Reduction of Sizings in the Wheat Flour Milling Process. Chapter 8, In V.Pletney (Ed.), *Focus on Food Engineering Research and Developments*, 453-466.

109. Wanzenried, H. (1970). Grinding with smooth rolls, *Association of Operative Millers – Bulletin (September)*, 3195-3197.
110. Zwingelberg, H., Meyer, D., and Gerstenkorn, P. (1983). Beeinflussung der Mehlausbeute und Mehlqualität von Weizen durch Glattwalzen unterschiedlicher Beschaffenheit. *Getreide Mehl Brot*, 37, 112-117.
111. Evers, A.D., Baker, G.J., Stevens, D.J. (1984). Production and measurement of starch damage in flour. Part 1. Damage due to roller milling of semolina, *Starke*, 36, 309-312.
112. Niernberger, F.F., Farrell, E.P. (1970). Effects of roll diameter and speed on first break grinding of wheats, *Association of Operative Millers – Bulletin (January)*, 3154-3158.
113. Gehle, H. (1965). The Miag »Vario« rollstand-design and purpose, *Association of Operative Millers – Bulletin (November)*, 2861-2862.
114. Cleve, H., Will, F. (1966). Research with the help of the Varioroll, *Cereal Science Today*, 11, 128-132.
115. Schumacher, F. (1966). Spiral, cut, pressure among technical aspects of grinding with roller mills, *American Miller Process.*, 5, 29.
116. McCorkle, F.D. (1973). Development and operation of the modern roller mill, *Association of Operative Millers – Bulletin (May)*, 3362-3364.
117. Creason, H. (1975). Grinding and corrugating rolls, *Association of Operative Millers – Bulletin (November)*, 3569-3570.
118. Tanović G., Đurin Z. (1982). Zavisnost efekata krupljenja Novosadske rane 2 od uzajamnog položaja žlebova valjaka zadnjih prolazišta krupljenja. *Žito-hleb*, 9, 3-11.
119. Tanović G., Đurin Z. (1982). Zavisnost efekata krupljenja pšenice od uzajamnog položaja žlebova valjaka zadnjih prolazišta krupljenja, *Žito-hleb*, 9, 31-37.
120. Miller, D. (1996). Zusammengewürfelte Gedanken über Müllereimaschinen und Vermahlungstechnologie, *Die Mühle + Mischfuttertechnik*, Heft 30, 485-488.
121. Martinov, M. (2001). Aktualna tehnološko-tehnička rešenja u meljavi pšenice na početku trećeg milenijuma, *Žito-hleb*, 28, 9-15.
122. Zwingelberg, H. (2003). Mahlverfahren für weizen und rogen. Eine Betrachtung aus heutiger sicht von mühlening, *Die Mühle + Mischfuttertechnik*, Heft 26, 800-807.
123. Krach, H. (1996). The development of milling technique with orientation to selected machines, Monografija, Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, 175-181.

124. Miller, D. (1996). Zusammengewürfelte Gedanken über Müllereimaschinen und Vermahlungstechnologie 2. Teil, *Die Mühle + Mischfuttertechnik*, Heft 31, 500-504.
125. Martinov, M. (1998). Savremena tehničko-tehnološka rešenja u mlevenju pšenice, *Žito-hleb*, 25, 156-161.
126. Eugster, W. (2001). Advances in Process Technology, *Association of Operative Millers – Bulletin (October)*, 7706-7707.
127. Dübendorfer, U. (2007). Energy management in flour mills, *World Grain (August)*, 65-68.
128. Willm, C. (2003). Studium eines französischen Weizenmühlen-Diagrammes, *Die Mühle + Mischfuttertechnik*, Heft 14, 417-425.
129. Baltensperger, W. (2001). State-of-the-Art Grain Milling Technology, *Association of Operative Millers – Bulletin (January)*, 7583-7592.
130. Baltensperger, W. (1997). Particle Size of Semolinas for Pasta Production, *Association of Operative Millers – Bulletin (March)*, 6879-6884.
131. ICC Standard No.110/1. Determination of moisture content of cereals and cereal products (Practical method).
132. ICC Standard No.104/1. Determination of ash in cereals and cereal products.
133. Pravilnik o kvalitetu žita, mlinskih proizvoda, hleba, peciva i testenine, Službeni list SRJ, br.52, 1995.
134. Al-Mogahwi, H.W.H., Baker, C.G.J. (2005). Performance evaluation of mills and separators in a commercial flour mill, *Food and Bioproducts Processing*, 83(C1), 25-35.
135. Flamer, R. (2008). Developments in Flour Milling, *Milling Journal (Fourth Quarter)*, 14-16.