

# Utjecaj stupnja usitnjavanja endosperma na konačni stupanj prevrelosti pšeničnih komina

---

Horvatić, Karlo

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:109:679454>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](#) / [Imenovanje-Nekomercijalno-Dijeli pod istim uvjetima 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-31**

REPOZITORIJ

PTF OS

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

dabar  
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology Osijek](#)



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

**Karlo Horvatić**

**UTJECAJ STUPNJA USITNJAVANJA ENDOSPERMA NA KONAČNI  
STUPANJ PREVRELOSTI PŠENIČNIH KOMINA**

Diplomski rad

**Osijek, rujan 2022.**

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek  
Zavod za procesno inženjerstvo  
Katedra za bioprocesno inženjerstvo  
Franje Kuhača 20, 31000 Osijek, Hrvatska

### Diplomski sveučilišni studij Prehrambeno inženjerstvo

**Znanstveno područje:** Biotehničke znanosti

**Znanstveno polje:** Prehrambena tehnologija

**Nastavni predmet:** Tehnologija slada i piva

**Tema rada** je prihvaćena na III. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek u akademskoj godini 2021./2022. održanoj 21. prosinca 2021.

**Mentor:** izv. prof. dr. sc. *Kristina Mastanjević*

**Komentor:** dr. sc. *Krešimir Dvojković*, zn. sv. -tr.zv.

**Pomoć pri izradi:**

### Utjecaj stupnja usitnjavanja endosperma na konačni stupanj prevrelosti pšeničnih komina

*Karlo Horvatić, 0113143093*

**Sažetak:** Cilj ovog rada je ustanoviti utjecaj stupnja usitnjavanja endosperma na konačni stupanj prevrenja pšeničnih komina, a polazeći od pretpostavke da će mehaničkim usitnjavanjem (gruba, fina i vrlo fina meljava) i staklasti dijelovi endosperma navedenih pšenica postati fizički dostupni djelovanju citolitičkih, proteolitičkih i amilolitičkih enzima, te će uspješnost ošećerenja endosperma rasti sa povećanjem stupnja usitnjenosti. Na ovaj način će se potvrditi hipoteza da visoka početna staklavost zrna nije ograničavajući faktor u primjeni ovih pšenica u industriji vrenja.

**Ključne riječi:** tvrdoća, pšenica, staklavost, komina, prevrelost, ošećerenje

**Rad sadrži:** 38 stranica  
3 slike  
7 tablica  
0 priloga  
25 literaturnih referenci

**Jezik izvornika:** hrvatski

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

|    |   |               |
|----|---|---------------|
| 1. | prof. dr. sc. <i>Vinko Krstanović</i>               | predsjednik   |
| 2. | doc. dr. sc. <i>Kristina Mastanjević</i>            | član-mentor   |
| 3. | dr. sc. <i>Krešimir Dvojković</i> , zn. sv. -tr.zv. | član-komentor |
| 4. | dr. Sc. <i>Gordana Šimić</i> , zn. sv. -tr.zv.      | zamjena člana |

**Datum obrane:** 12. rujna 2022.

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

## BASIC DOCUMENTATION CARD

GRADUATE THESIS

University Josip Juraj Strossmayer in Osijek  
Faculty of Food Technology Osijek  
Department of Process Engineering  
Subdepartment of Bioprocess Engineering  
Franje Kuhača 20, HR-31000 Osijek, Croatia

### Graduate program Food Engineering

**Scientific area:** Biotechnical sciences  
**Scientific field:** Food technology  
**Course title:** Technology of malt and beer  
**Thesis subject** was approved by the Faculty of Food Technology Osijek Council at its session no. III. held on December 21th 2021  
**Mentor:** *Kristina Mastanjević*, PhD, assoc. prof.  
**Co-mentor:** *Krešimir Dvojković*, PhD, Senior Scientific Adviser  
**Technical assistance:**

### Influence of endosperm milling degree on the attenuation limit of wheat mash

*Karlo Horvatić*, 0113143093

**Summary:** The aim of this paper is to establish the influence of endosperm milling degree on final attenuation limit of wheat wort, starting from the assumption that the mechanical milling (coarse, fine and very fine milling) would enable the glassy/vitreous parts of the endosperm to become physically accessible to the amylolytic and proteolytic enzymes which would increase the endosperm saccharification level. This would confirm the hypothesis that high initial grain virtuousness is not a limiting factor in the application of these wheat in the fermentation industry.

**Key words:** hardness, wheat, vitrousness, wort, attenuation, saccharification

**Thesis contains:** 38 pages  
3 figures  
7 tables  
0 supplements  
25 references

**Original in:** Croatian

### Defense committee:

- |    |  |                  |
|----|--|------------------|
| 1. | <i>Vinko Krstanović</i> , PhD, prof.                       | chair person     |
| 2. | <i>Kristina Mastanjević</i> , PhD, assoc. prof.            | supervisor       |
| 3. | <i>Krešimir Dvojković</i> , PhD, Senior Scientific Adviser | member-commentor |
| 4. | <i>Gordana Šimić</i> , PhD, Senior Scientific Adviser      | stand-in         |

**Defense date:** September 12th 2022

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

Zahvaljujem od srca svojim roditeljima i bratu na bezuvjetnoj podršci i neizmjernoj pomoći tokom ovih 5 nezaboravnih godina studiranja, bez vas to ne bi bilo moguće. Zahvaljujem svim svojim prijateljima i kolegama koji su to vrijeme učinili lakšim i sretnijim. Zahvaljujem svim profesorima na uloženom trudu i prenesenom znanju. Posebno zahvaljujem mentorici Kristini Mastanjević što je uvijek bila na raspolaganju i pružila veliku količinu pomoći i vremena.

**Moj uspjeh je i Vaš uspjeh.**

**Hvala Vam!**

# Sadržaj

## Sadržaj

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. UVOD</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>2. TEORIJSKI DIO</b> .....   | <b>5</b>  |
| <b>2.1. PRIMJENA PŠENICE U PIVARSTVU</b> .....  | <b>6</b>  |
| 2.1.1. Pšenica kao pivarska sirovina .....  | 6         |
| 2.1.2. Pšenica .....  | 6         |
| 2.1.3. Pšenični slad .....  | 9         |
| 2.1.4. Pokazatelji kakvoće pšenice i pšeničnog slada važni u pivarstvu .....                                    | 12        |
| 2.1.5. Tipovi i vrste pšeničnih piva .....  | 15        |
| <b>2.2. KONAČNI STUPANJ PREVRENJA KAO KUMULATIVNI POKAZATELJ POGODNOSTI POJEDINE KOMINE ZA PREVIRANJE</b> ..... | <b>17</b> |
| <b>3. EKSPERIMENTALNI DIO</b> .....   | <b>19</b> |
| <b>3.1. ZADATAK</b> .....   | <b>20</b> |
| <b>3.2. MATERIJALI I METODE</b> .....   | <b>20</b> |
| 3.2.1. Odabir sorti pšenica za ispitivanje .....  | 20        |
| 3.2.2. Određivanje polaznih pokazatelja kakvoće pšenice .....   | 20        |
| 3.2.3. Određivanje kakvoće pšeničnih komina .....   | 21        |
| 3.2.4. Statistička obrada podataka .....  | 22        |
| <b>4. REZULTATI I RASPRAVA</b> .....  | <b>23</b> |
| <b>4.1. REZULTATI ODREĐIVANJA POLAZNIH POKAZATELJA KAKVOĆE PŠENICA</b> .....                                    | <b>24</b> |
| <b>4.2. REZULTATI ODREĐIVANJA POKAZATELJA KAKVOĆE PŠENIČNIH KOMINA</b> .....                                    | <b>25</b> |
| <b>4.3. RAZMATRANJE UTJECAJA STUPNJA USITNJENOSTI ENDOSPERMA NA KONAČNI STUPANJ PREVRENJA</b> .....             | <b>27</b> |
| <b>5. ZAKLJUČCI</b> .....   | <b>29</b> |
| <b>6. LITERATURA</b> .....  | <b>31</b> |

## **1. UVOD**

Cilj rada je ustanoviti utjecaj stupnja usitnjenosti endosperma pšenice na pokazatelje kakvoće pšeničnih komina, sa posebnim naglaskom na konačni stupanj prevrenja kao kumulativni pokazatelj pogodnosti pojedine komine (od određene frakcije) za postupak vrenja. Pri tome će se ispitati i utjecaj stupnja usitnjavanja na udjele i strukturu dušičnih frakcija (fermentabilnih i nefermentabilnih). Rezultati ispitivanja bi trebali biti osnova za optimiranje postupka pripreme komina od pšenica različite tvrdoće i prirode staklavosti zrna. Staklavost zrna jedna je od najvažnijih karakteristika ocjenjivanja zrna koje utječe na učinak mljevenja i kvalitetu pšenice za krajnju upotrebu. Staklavost zrna se određuje na temelju presjeka zrna i ukazuje na strukturu endosperma. Ako je boja endosperma bijela, zrno je brašnavo i sadrži više škroba. Ako je presjek zrna poluproziran, zrno je staklavo i sadrži više proteina.

Povećanjem stupnja usitnjenosti (smanjenje promjera čestica) sadržaj endosperma bi trebao biti dostupniji enzimskoj razgradnji (oštećenju komine), pa bi posljedično trebao rasti i udjel ekstrakta (pretežno fermentabilnog, ali i nefermentabilnog). Međutim povećanjem stupnja usitnjavanja zrna povećava se mogućnost da u kominu prelazi više nefermentabilnih sastojaka dušika (osobito visokomolekulskog HMN i srednjemolekulskog MMN koji kvasac ne može koristiti u svom metabolizmu, a koji uzrokuje i dodatne procesne probleme).

Pšenica je vrlo zahvalna škrobna sirovina za proizvodnju etanola i alkoholnih pića jer sadrži velik udjel škroba u endospermu zrna. Taj škrob može biti sirovina za fermentacijski proces samo ako je preveden u oblik koji kvasac može koristiti odnosno šećere, prvenstveno maltozu. To je moguće samo ako se prethodnim mehaničkim usitnjavanjem omogući da se iz njega ekstrahiraju topljivi sastojci koji mogu ući u proces enzimskog oštećenja. Pri tome je stupanj njegovog usitnjavanja, tj. veličina čestica veoma važna. Povećanjem stupnja usitnjenosti pšenice (smanjenjem granulacije endosperma) bi se trebala povećavati topljivost njegovih sastojaka, odnosno tijekom postupka ukomljavanja njegova dostupnost djelovanju hidrolitičkih enzima (prvenstveno enzima za razgradnju škroba, ali i citolitičkih i proteolitičkih enzima). Ovo kao posljedicu ima povećanje udjela ekstrakta u komini i to prvenstveno fermentabilnih šećera što u konačnici daje više etanola u procesu vrenja. Uobičajeno u pivarstvu imamo finu i grubu meljavu pri čemu kod kvalitetnih pivarskih sorti ta razlika bi trebala biti što manja, međutim to se odnosi na ječam kao uobičajenu pivarsku sirovinu. Međutim pšenica se kemijski razlikuje od ječma prvenstveno po sastavu i količini proteina. Očekivano bi se daljnjim povećanjem stupnja usitnjenosti pšeničnog endosperma moglo



očekivati povećanje udjela ekstrakta u komini i povećanje konačnog stupnja prevrenja komine. Međutim, povećanjem stupnja usitnjavanja zrna povećava se mogućnost da u kominu pređe više nefermentabilnih sastojaka dušika (osobito visokomolekulskog HMN i srednjemolekulskog MMN koji kvasac ne može koristiti u svom metabolizmu, a koji uzrokuje i dodatne procesne probleme). Dakle pored povećanja udjela ukupnog ekstrakta može unutar njega doći do promjene odnosa fermentabilni : nefermentabilni ekstrakt i to u korist nefermentabilnog. Zbog toga može i pored povećanja ukupnog ekstrakta doći do smanjenja konačnog stupnja prevrenja. Radi ustanovljavanja stvarnog utjecaja povećanja usitnjenosti endosperma pšenice na konačni stupanj prevrenja komine u ovom radu će se ispitati promjena sastava ekstrakta sa povećanjem stupnja usitnjenosti usipka i kvaliteta dobivenih sladovina, te na temelju toga izvesti zaključak o optimalnom stupnju usitnjavanja endosperma kod kojeg će se dobiti najpovoljniji odnos fermentabilni : nefermentabilni ekstrakt odnosno najveći konačni stupanj prevrenja komine.



## **2. TEORIJSKI DIO**

## 2.1. PRIMJENA PŠENICE U PIVARSTVU

Pšenica je druga najzasađenija žitarica na svijetu odmah nakon kukuruza i jedna od najstarijih kultiviranih kultura koja se uzgaja već tisućama godina i ima dugu tradiciju kao sirovina za proizvodnju slada i piva. Ipak, proučavana je u znatno manjoj mjeri od ječma koji je oduvijek glavna sirovina u pivarstvu. Pšenično pivo spada u specijalne vrste piva koje se razvilo u Bavarskoj u kasnom srednjem vijeku (Faltermaier i sur., 2013.).

### 2.1.1. Pšenica kao pivarska sirovina

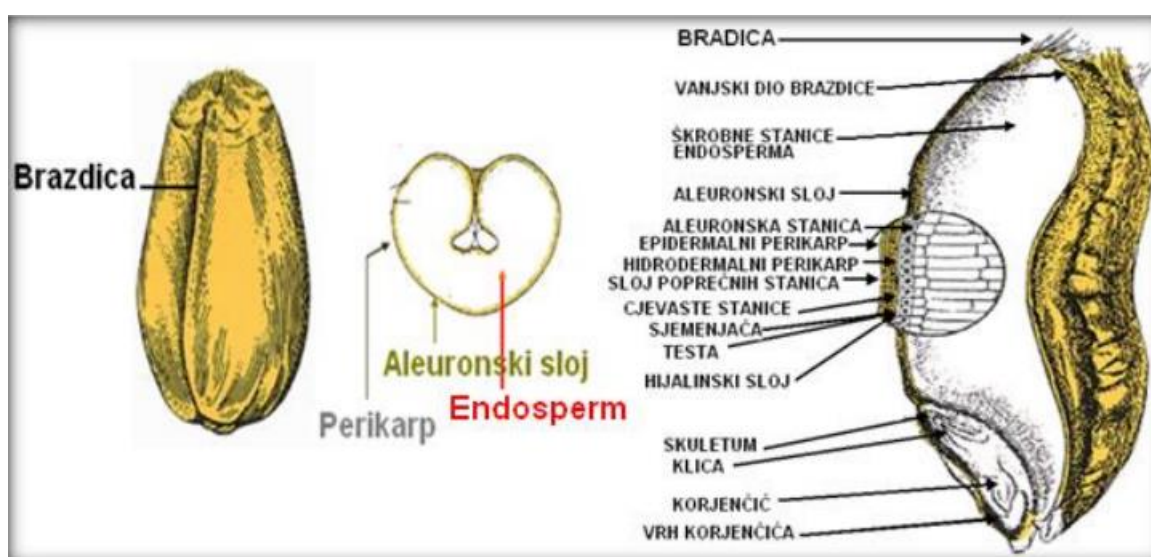
Pšenica se uvijek gotovo isključivo uzgajala za pekarsku industriju, samim time nije bilo neke veće potrebe za oplemenjivanjem iste u druge svrhe, što je loše utjecalo na pivarsku industriju. Pšenica koja se koristi za pečenje mora sadržavati što više proteina i imati što manju razinu aktivnosti enzima. S druge strane, taj visok sadržaj proteina koji je povoljan u poljoprivrednom i pekarskom pogledu, loš je za sve pivare. Razlog je taj što visok sadržaj proteina uzrokuje sporije cijedenje, probleme sa filtracijom i fermentacijom te smanjuje stabilnost okusa u gotovom pivu (Faltermaier i sur., 2013.).

Tvrde, crvene sorte ozime pšenice prikladnije su za proizvodnju piva zbog nižih vrijednosti indeksa glutena, manjeg udjela proteina i viših vrijednosti ekstrakta što na kraju daje svjetliju boju piva (Krstanović i sur., 2020.a).

### 2.1.2. Pšenica

Jedna od najvažnijih poljoprivrednih kultura današnjice, pšenica, zbog svoje se visoke produktivnosti uzgaja se u cijelom svijetu. Tisućugodišnjom selekcijom uzgojena je u velikom broju sorti, a razvojem znanosti svake se godine registriraju nove sorte sa sve boljim osobinama. Porijeklom je iz porodice trava (*Poaceae*), roda *Triticum* i zeljasta je jednogodišnja biljka koja se sastoji od korijena, stabljike, listova i klasa (Žeželj, 2005.) Pšenica najbolje raste na tlu koje je bogato ilovačom i glinom, ali zbog svoje iznimne prilagodljivosti različitim okolišnim uvjetima, dobre rezultate usjeva daje i na slabijoj zemlji. Čini jednu od glavnih komponenti ljudske prehrane držeći dno prehrambene piramide, te je između ostalih grana prehrambene industrije svoju ulogu pronašla i u pivarstvu (Barić, 2009.) Pšenično zrno je plod biljke pšenice, a može biti plosnatog, izduljenog, okruglog i najčešće ovalnog oblika.

Zrno se sastoji od omotača, aleuronskog sloja, endosperma i klice. Omotač se sastoji od vanjskog sloja (perikarpa) i unutrašnjeg sloja (perisperma), te štiti unutarnje dijelove zrna i omogućuje upijanje vode kod klijanja i bubrenja zrna. U ukupnoj masi zrna, 12-15% otpada na omotač. Aleuronski sloj čini periferni dio endosperma i sadrži aleuronska zrnca u kojima se nalaze enzimi koji sudjeluju u procesu klijanja, ulja, proteini i pigment ksantofil zaslužan za boju zrna. Endosperm čini najveći udio zrna (oko 90%) i iznimno je bogat škrobnim granulama (rezerva hranjive tvari) između kojih se nalaze rezervni proteini. Na klicu koja je smještena u bazi zrna otpada 1,5-3% ukupne mase zrna i služi za začetak nove biljke (Kovačević i Rastija, 2009.)



Slika 1 Presjek i opis pšeničnog zrna (D'Appolonia, 1987.)

Osim već navedenih ugljikohidrata, proteina, masti i enzima, zrno pšenice sadrži i određeni dio mineralnih tvari, vitamina (A, B kompleksa i E) i naravno vode. Kemijski sastav može varirati ovisno o sorti i agroekološkim uvjetima (Kovačević i Rastija, 2009.).

Fizikalna svojstva pšeničnog zrna važna su u procjeni kvalitete pšenice. U njih se ubrajaju (Barić, 2018; Anić, 2016.):

- Apsolutna masa je masa 1000 zrna, kod pšenice se ona kreće od 30 g do 45 g, u prosjeku oko 38 g
- Veličina i oblik zrna- određuju se mjerenjem poprečnog presjeka zrna nakon prosijavanja kroz sita s tri različite veličine otvora

- Boja zrna- pigmenti se nalaze u omotaču, a promjene u boji su povezane s klimatskim uvjetima te uvjetima uzgoja, odstupanje od karakteristične boje ukazuje na lošu kakvoću
- Oštećenja zrna- fizička oštećenja smanjuju skladišnu vrijednost, prije žetve zrno mogu oštetiti bolesti i štetočine, te je smanjen prinos brašna
- Primjese- uključuju korovsko sjemenje, zemlju i slično
- Senzorska svojstva- pšenica namijenjena ljudskoj prehrani i preradi mora imati cijela i zdrava zrna, ne smije imati mirisa ni okusa korova, plijesni, snijeti, lošeg uskladištenja i slično
- Gustoća zrna- masa jedinice volumena zrna, dijelovi zrna su različitih gustoća što omogućuje razdvajanje tijekom mljevenja
- Poroznost pokazuje koliki je odnos međuzrnenog prostora u zrnenj masi, izražava se u %, a računa iz gustoće i volumena mase
- Sipkost podrazumijeva kretanje zrnene mase pod djelovanjem određene sile
- Hektolitarska masa— masa jednoga hektolitara pšenice izraženoga u kilogramima. Hektolitarska masa varira u rasponu od 60 kg do 84 kg, a kvalitetna pšenica ima hektolitarsku masu veću od 76 kg.
- Staklavost (brašnavost) — izražava strukturu endosperma i temelji se na izgledu njegova presjeka (staklast ili bijel). Budući da staklava zrna pri presjeku daju veći otpor, a brašnava manji, prva se nazivaju tvrda, a druga meka, pa su stoga i nastali nazivi "meka" i "tvrda" pšenica. Između potpuno staklavih i potpuno brašnavih zrna postoje zrna koja su u različitim stadijima staklavih, odnosno brašnava. Obično se daje prednost staklavoj pšenici, jer se smatra da je ona bogatija bjelančevinama.

Staklavost odnosno brašnavost pšeničnog zrna jedno je od svojstava koje se razmatra ovim diplomskim radom. Staklavost zrna jedna je od najvažnijih karakteristika ocjenjivanja zrna koje utječe na učinak mljevenja i kvalitetu pšenice za krajnju upotrebu. Staklavost zrna se određuje na temelju presjeka zrna i ukazuje na strukturu endosperma. Ako je boja endosperma bijela, zrno je brašnavo i sadrži više škroba. Ako je presjek zrna poluproziran,

zrno je staklavo i sadrži više proteina. Jezgre koje izgledaju poput stakla i prozirne su nazivaju se staklastim, dok se jezgre koje nemaju prozirnost ili su svijetle, neprozirne, nazivaju nestaklastima, škrobastima ili brašnastima. Staklave jezgre se osim s većim sadržajem proteina povezuju i s većom sposobnošću upijanja vode. U staklastom endospermu adhezija između škrobnih granula i skladišnih proteina mnogo je jača u usporedbi sa škrobnim (brašnastim) endospermom, što dovodi do čvršće zbijene strukture. Čimbenici koji utječu na svojstva staklastog zrna pšenice su nasljedstvo, vremenske prilike, obrada tla i gnojidba. Međutim, staklastost je uglavnom kontrolirana dostupnošću dušika kao i temperaturom tijekom razdoblja rasta zrna (Baasandorj i sur., 2015.).



**Slika 2 Prikaz presjeka staklavog (lijevo) i brašnavog (desno) zrna (Baasandorj i sur., 2015.)**

### 2.1.3. Pšenični slad

Slad je nutritivno i enzimski bogat proizvod, to ga čini važnom pomoćnom sirovinom u mnogim granama prehrambene industrije. Osim što se koristi za proizvodnju jakih alkoholnih pića, svijetli pšenični slad koristi se prije svega u proizvodnji piva, za pšenična piva (Weizenbier, 50% ili više u krupici), ili kao dodatak ječmenom sladu u Alt i Kölsch pivu (do 20%) (Krstanović i sur., 2020.b).

Optimalan udio pšeničnog slada u usipku mora biti između 40% i 60% ako želimo dobiti pivo punijeg okusa i harmonične gorčine (Schmidt, 1978.). Pšenični slad je u jednu ruku vrsta specijalnog slada i služi kao dodatak koji treba „osvježiti okus“, a u drugu osnovni sastojak usipka pri proizvodnji određene vrste piva (Grozaj, 2010.).

Proces slađenja definira se kao simulacija rasta nove biljke u kontroliranim uvjetima pri čemu se reguliranjem uvjeta iniciraju i usmjeravaju biokemijski i fiziološki procesi u zrnu. Cilj

postupka je dobivanje djelomično promijenjenog zrna (slada) sa svojstvima koja su unaprijed definirana prema potrebama daljnjeg korištenja. Proces slađenja pšenice ne razlikuje se od procesa slađenja ječma koji je glavna sirovina u pivarstvu, upravo iz razloga jer su to vrlo slične sirovine (Blekić, 2012.).

Slađenje se sastoji od četiri glavne faze: namakanje, klijanje, sušenje i otklicavanje. Klijanje čini najvažniji proces u kojem se odvija većina važnih promjena, npr. sinteza enzima i modifikacija slada. Kada je postiglo određenu fazu, klijanje se prekida sušenjem sjemena, tj. zelenog slada pomoću upuhivanja vrućeg zraka kroz sloj zrna (Habschied i sur., 2014.).

U svakoj od ovih faza dolazi do međusobnog ispreplitanja i interakcije fizikalnih, kemijskih i biokemijskih procesa koji se prema tome moraju promatrati skupno. Tijekom procesa kontroliraju se i reguliraju parametri poput temperature, vremena trajanja, protok zraka itd. Jedna od posljedica je promjena strukture zrna uzrokovana biokemijskim procesima koji osiguravaju energiju i gradivne molekule za rast embrija (klice i korjenčića), oni cijelo vrijeme teku paralelno, a nazivamo ih citoliza, proteoliza i amiloliza (Blekić, 2012.).

Normalno suho zrno pšenice ima vrlo slabu enzimsku aktivnost. Pošto se enzimске reakcije mogu odvijati samo u vodenoj sredini, svrha močenja ili namakanja je povećanje udjela vode u zrnu. Močenjem zrno bubri i volumen mu se poveća za  $\frac{1}{3}$ . Dolazi do aktivacije enzima, a inducira se i životna aktivnost embrija te dolazi do intenzivnijeg disanja zrna. Iz tog razloga potrebno je zrno opskrbljivati i kisikom. Zbog nedostatka pljevice kod zrna pšenice u odnosu na zrno ječma, potrebno vrijeme namakanja je kraće. U početku močenja je primanje vlage vrlo brzo, a kasnije polako dolazi do zasićenja. Temperatura vode ima značaj utjecaj na vrijeme namakanja, što je temperatura vode viša, vrijeme namakanja postaje kraće. Konačni udio vode u zrnu nakon sedam dana namakanja i klijanja iznosi 44-46% (Kunze, 1999.).

U procesu klijanja razvija se jedan jači ili najviše dva slabija korjenčića i dolazi do promjene kemijskih sastojaka zrna. Iz tog razloga je za klijanje potrebna velika količina energije i gradivnih tvari. Kemijskih signalima iz embrija dolazi do sinteze hidrolitičkih enzima u aleuronskom sloju zrna, a nastali enzimi napadaju stanične stjenke endosperma i tako mobiliziraju proteinske i škrobne rezerve koje onda služe kao gradivne tvari. U kasnijoj fazi klijanja aleuronski sloj preuzima glavnu ulogu u sintezi hidrolitičkih enzima. Smežuran i razrahljen izgled zrna pšeničnog slada rezultat je nastanka sloja razgrađenih stanica uz aleuronski sloj, a sve zbog razgradnje škroba i proteina endosperma. Da bi došlo do



normalnog razvitka embrija u klijalištu zrna potrebno je omogućiti upuhivanje zraka određene temperature koja je obično 2°C niža od temperature zrna i relativnu vlažnost zraka od 70% do 90%. Proizvod procesa klijanja ili germinacije zove se zeleni slad (Narziss, 1999.)



**Slika 3 Prikaz klijanja pšeničnog zrna (Bewley, 1985.)**

Razvoj embrija mora biti ograničen jer troši sastojke zrna što dovodi do ekonomskih gubitaka. Sušenjem zelenog slada zaustavlja se klijanje u trenutku kada je zrno dovoljno razgrađeno i kada je sintetizirano dovoljno hidrolitičkih enzima potrebnih za enzimsku hidrolizu zrna. Smanjuje se količina vlage zrna s 40% na oko 5%, prekida klijanje i nastaju obojene i aromatične tvari slada. Potrebno je voditi pažnju o termičkoj denaturaciji enzima u sladu. Prva faza sušenja odvija se na temperaturi od oko 50°C sve do količine vlage od 10%. U drugoj fazi se uklanja preostala slobodna i vezana voda zrakom smanjenog protoka i temperature 80-85°C. Drugim riječima, dolazi do Maillardovih reakcija. Važan neenzimski skup reakcija između šećera i aminokiselina pri visokim temperaturama pri čemu nastaju melanoidi, tj. spojevi sladno-aromatičnog okusa i crveno-smeđih nijansi. Kod proizvodnje svijetlog slada Maillardove reakcije nisu poželjne, jer kasnije u proizvodnji piva nije moguće spriječiti suviše tamno obojenje (Narziss, 1999.).

Proces slađenja završava hlađenjem i otklicavanjem, uz obavezno prikladno skladištenje slada od najmanje 4 tjedna prije same upotrebe (Blekić, 2012.).

Valja spomenuti kako se i neslađena pšenica također može koristiti u proizvodnji piva, a pridonosi aromi tzv. neutralne vrte piva, daje specifičan i osvježavajući okus, a pjena piva je

stabilnija zbog samih proteina pšenice. Osim toga, veličina mjehurića pšeničnog piva je mnogo manja nego kod ječmenog piva, što pjenu pšeničnog piva čini kremastijom (Krstanović i sur., 2020.a).

#### **2.1.4. Pokazatelji kakvoće pšenice i pšeničnog slada važni u pivarstvu**

Sladarsku kvalitetu pojedine sorte pšenice moguće je pouzdano odrediti samo ako se raspolaže rezultatima minimalno trogodišnjeg praćenja vrijednosti za pokazatelje viskoznosti sladovine i ukupnog dušika u sladovini (Narziss, 1999.). Na temelju tih vrijednosti se sorte pšenice prema njemačkoj stručnoj klasifikaciji koja je posebno razvijena za potrebe pivarske industrije, mogu podijeliti u četiri kvalitativne skupine:

1. Sladove niske viskoznosti i slabe razgradnje proteina
2. Sladovine s niskom viskoznošću i pojačanom razgradnjom proteina, kod kojih suzbijanje proteolize može biti popraćeno izraženim pogoršanjem citolitičke razgradnje
3. Sladove s visokom viskoznošću i slabom razgradnjom proteina
4. Sladove kod kojih je jaka proteoliza istovremeno praćena visokom viskoznošću.

Četvrta skupina nije prikladna za proizvodnju slada jer nema svojstva koja bi se mogla regulirati za dobivanje kvalitetnog slada. Općenito se za proizvodnju slada preporučuju meke sorte zbog nižeg sadržaja proteina, stoga najpovoljnije sorte pšenice namijenjene proizvodnji slada imaju 11-11,5% ukupnih proteina (Krstanović i sur., 2020.b).

Kao što je spomenuto ranije, visok udio proteina u pšenici nije dobar znak u pivarskom smislu. Ukupni proteini drže središnju ulogu u kvaliteti i strukturi pšeničnog slada, te tako utječu na smanjenje ekstrakta, povećanje topljivog dušika i slobodnog amino dušika. Kvocijent topljivog dušika i slobodnog amino dušika pokazatelj je koliko su dobro topljivi proteini razgrađeni, a u pšeničnom sladu taj kvocijent treba biti manji (9-16%), nego u ječmenom sladu (19-24%). Da bi se proces slađenja mogao nazvati uspješnim, glavni pokazatelj je dobivanje sladovine niske viskoznosti i niskog udjela topljivog dušika. Tu je i Kolbachov indeks koji prema definiciji predstavlja udio topljivog dušika u ukupnom dušiku te

je tako pokazatelj uspješne proteolitičke razgradnje slada. Za pšenični slad on mora iznositi manje od 38% (Krstanović i sur., 2019.).

U **Tablici 1** nalaze se osnovni zahtjevi za kvalitetu pšeničnog u odnosu na ječmeni slad koji su pogodni za pivarsku industriju.

**Tablica 1 Kriteriji kvalitete za pšenični i ječmeni slad pogodni za potrebe pivarstva (Faltermajer i sur., 2013.)**

| Analizirano svojstvo    | Mjerna jedinica       | Preporučeni raspon za pšenični slad | Preporučeni raspon za ječmeni slad |
|-------------------------|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Količina vode           | %                     | 4,5-5,0                             | 4,5-5,0                            |
| Proteini                | %                     | 11,0-13,0                           | 9,5-10,5                           |
| Ekstrakt                | % (d.m.)              | >83                                 | >81                                |
| Viskoznost              | mPa s                 | <1800                               | >1560                              |
| Konačna prevrelost      | %, app.               | >79                                 | >80                                |
| Slobodni amino dušik    | mg/100g slada (d.m.)  | 90-120                              | 120-160                            |
| Topljivi dušik          | mg/100 g slada (d.m.) | 650-780                             | 600-700                            |
| <b>Kolbachov indeks</b> | <b>%</b>              | <b>37-40</b>                        | <b>38-42</b>                       |

U **Tablici 2** nalaze se preporučene vrijednosti za pšenični slad koji je pogodan za postupak slađenja.

**Tablica 2 Preporučene vrijednosti za pšenični slad (Kunze 1999.; Sacher 1997.; MEBAK 1997.)**

| Pokazatelj                                    | Standardne vrijednosti               |
|---|--------------------------------------|
| Gubitci tijekom slađenja                      | Što niži                             |
| Ekstrakt                                      | Što veći, >83,7% na s.tv.            |
| Viskoznost kongresne sladovine                | Što manji, <1,65 mPa s, 8,6%         |
| pH kongresne sladovine                        | Prilično visok, >6,07                |
| Konačni stupanj prevrenja kongresne sladovine | Što veći, 81,5%                      |
| Sadržaj sirovih bjelančevina                  | Što manji, <13% na s. tv.            |
| Topljivi dušik u kongresnoj sladovini         | Što manji, <730 mg/100 g s. t. slada |
| Voda  | <5%                                  |
| Ekstrakt fini                                 | >83% s. tv.                          |
| Razlika ekstrakta                             | 2,5                                  |
| Ukupni proteini                               | <12,5 % s. tv. (Nx6,25)              |
| Topljivi dušik                                | 700-900 mg/100 g s. tv.              |
| Boja  | 3-7 EBC                              |
| pH  | 5,9 – 6,1                            |
| Viskoznost                                    | 1,80 mPa s                           |

### 2.1.5. Tipovi i vrste pšeničnih piva

Izraz pšenično pivo krovni je pojam koji obuhvaća ale piva (dakle, nastaju radom kvasaca pri gornjoj temperaturi vrenja, od 18-23°C) s određenim udjelom pšeničnog slada, a povijesno pripadaju njemačkoj, prije svega bavarskoj, belgijskoj te američkoj pivarskoj tradiciji. Zamjenom najmanje 50% ječmenog slada s pšeničnim sladom dobiva se pšenično i tzv. *Bijelo pivo (Weizenbier i Weissbier)*. Tradicionalna europska pšenična piva su piva gornjeg vrenja, koja kratko odležavaju. Pjena im je vrlo blijeda, skoro pa bijela u usporedbi s pjenom piva gornjeg vrenja od ječmenog slada. Pšenica pivu daje bljeđu boju nego ječam, pa pivo kad je hladno i nefiltrirano ima mliječno bijelu boju. Tome također doprinosi i visok udjel mliječne kiseline u tom pivu.

Najpoznatija dva tipa pšeničnih piva su mutno pšenično pivo i kristalno pšenično pivo.

- Mutno pšenično pivo ili pivo sa živim kvaščevim stanicama (*Hefeweizen Bier*), koje dovire u bačvi ili boci, pa mu se prije punjenja u ambalažu podešava udjel fermentabilnog ekstrakta i broj kvaščevih stanica.
- Kristalno bistro pšenično pivo (*Kristallweizen Bier*), koje se prije punjenja u ambalažu filtrira i ne sadrži kvaščeve stanice.

Oba tipa piva se proizvode od usipka koji sadrži najmanje 50% pšeničnog slada, a koncentracija ekstrakta u sladovini iznosi najmanje 11%. Obilježava ih visok udio CO<sub>2</sub> od 6-10 g/L, prijatan osvježavajući okus te tipična aroma koja potječe od povećanog udjela estera, viših alkohola i fenolnih spojeva.

Bijelo pivo (*Weissbier*) karakterizira kiselost koja je posljedica specifičnog postupka vrenja, koje se provodi pomoću kvasaca i bakterija mliječne kiseline. Tijekom vrenja nastala mliječna kiselina stabilizira pivo tako da ono ostaje stabilno nakon otakanja u boce i do godine dana. Usipak sadrži 35-50% pšeničnog slada, a sladovina 7,5% ekstrakta, pa je udjel alkohola u tom pivu nizak, oko 2,7% (Marić, 2009.). Neki od najrasprostranjenijih tipova pšeničnih piva su američki pšenični ale, belgijsko pšenično pivo – witbier, te varijante njemačkih pšeničnih piva - Dunkel Weizen, Weizenbock i Weizen Doppelbock, Berliner Weisse i Gose.

Osim slađene pšenice u proizvodnji piva koristi se i neslađena pšenica. Primaran razlog korištenja je pojeftinjenje cjelokupnih troškova proizvodnje, jer se zamjenom dijela slada

neslađenom žitaricom omogućuje smanjenje cijene po kilogramu ekstrakta. Osim toga, dobiva se i nova vrsta piva s različitim intenzitetima boje, gorčine i arome, a također poboljšana su i neka svojstva poput stabilnosti okusa, koloidna svojstva te oksidativna svojstva. S druge strane njihovo korištenje može otežati filtriranje komine te sporije odvijanje vrenja, no uporabom preporučenih udjela kao nadomjestak sladu osigurava se nesmetana proizvodnja u dobivanju proizvoda visoke kvalitete (Marić, 2009.).

Belgijska bijela piva često se prave s dodatkom neslađene pšenice. Poznata su dva tipa takvih piva, *Lambic* i *Gueuze*. Pripadaju pivima gornjeg vrenja, a zbog niskog pH od oko 3,3 posjeduju izrazitu kiselost te kompleksan miris i okus. U usipku sadrže najmanje 30% neslađene pšenice, a proizvode se spontanom vrenjem, tj. preko noći se sladovina hladi u plitkim, otvorenim posudama kako bi u nju dospjeli različiti mikroorganizmi iz zraka. Ovakva piva karakterizira suh i kiselkast okus te blaga gorčina, a zbog visokog udjela estera imaju voćnu aromu (Marić, 2009.).

Tablica 3 Primjena pšeničnog slada u pivarstvu (Krstanović, 2004.)

|                              | Boja EBC | Namjena   | Udio u usipku | Karakteristike  |
|------------------------------|----------|---|---------------|---|
| Pšenični slad<br>-svijetli - | 2-4      | Kristalno pšenično pivo<br>„Hefe-weizen“<br>„Kölsch“, piva gornjeg vrenja   | >80%          | Tipična aroma gornjeg vrenja; punoća i osvježavajući okus;            |
| Pšenični slad<br>-tamni-     | 15-20    | "Schankbier", "Ale", Altbier"<br>"Light" pšenično pivo<br>dodatak "lager pivu"<br>Pšenično pivo sa smanjenim sadržajem alkohola<br>Bezalkoholno pšenično pivo | >50%          | Proizvodnja tipičnih pšeničnih piva s okusom svojstvenim stilu piva   |
| Karamelizirani pšenični slad | 100-140  | "Dark ale"<br>piva gornjeg vrenja<br>"Hefe-weizen dunkel"   | >15%          | Izrazita punoća okusa;<br>izrazita aroma pšeničnog slada, visoka boja |

## 2.2. KONAČNI STUPANJ PREVRENJA KAO KUMULATIVNI POKAZATELJ POGODNOSTI POJEDINE KOMINE ZA PREVIRANJE

Smatra se da na konačnu prevrelost utječu: sorta (oko 58%), tehnika proizvodnje slada (32%) i drugi čimbenici (11%) (Krstanović i sur., 2019.). Zbog toga je jako teško nedvosmisleno povezati fermentabilnost sa bilo kojim od pokazatelja kvalitete, te se može uzeti u obzir kao zasebni (i kumulativni) pokazatelj kvalitete. Ipak, značajan broj radova koji su se pojavili nedavno dali su bolji uvid u pšenicu kao žitaricu za proizvodnju slada. Pregledni rad autora Faltermaier et. al. (2014) odnosi se na mnoge od njih. Procjena sladovne kakvoće sorti pšenice je čest problem djelomično zbog fenomena "prisilnog sazrijevanja". Ova pojava je izraženije u jugoistočnim dijelovima Europe gdje učinak sazrijevanja sile ograničava selekcija i označavanje sorti pšenice namijenjenih proizvodnji slada. Rad koji su Krstanović i sur. objavili 2019. godine bio je istražiti mogućnost predviđanja vrijednosti stupnja prevrenja u sladovini na temelju vrijednosti indikatora (ili više njih) kvalitete pšenice i pšeničnog slada. Zaključak je bio da iako korelacijska analiza nije pokazala jake korelacije između prevrelosti sladovine i

svih ostalih pokazatelja, bilo je vidljivo da pokazatelji kakvoće slada (ekstrakt, ekstraktna razlika, VZ 45 °C, dijasstaska snaga, i topljive N frakcije) djeluju značajno, pa čak i ključno na prevrelost. Razumno je pretpostaviti da je nedostatak uskih korelacija s pojedinačnim pokazateljem kakvoće slada posljedica međusobne isprepletenosti pokazatelja i njihovog konačnog kumulativnog učinka na prevrelost. Složenost ovog ispreplitanja ukazuje da prevrelost treba promatrati pojedinačno kao svojstvo sorte i kao individualni pokazatelj kvalitete.



### **3. EKSPERIMENTALNI DIO**

### 3.1. ZADATAK

Radna hipoteza: povećanjem stupnja usitnjenosti (smanjenje promjera čestica) sadržaj endosperma bi trebao biti dostupniji enzimskoj razgradnji (oštećenju komine), pa bi trebao posljedično rasti udjel ekstrakta (pretežno fermentabilnog, ali i nefermentabilnog). Međutim povećanjem stupnja usitnjavanja zrna povećava se mogućnost da u kominu prelazi više nefermentabilnih sastojaka dušika (osobito visokomolekulskog HMN i srednjemolekulskog MMN koji kvasac ne može koristiti u svom metabolizmu, a koji uzrokuje i dodatne procesne probleme).

Cilj rada: ustanoviti utjecaj stupnja usitnjenosti endosperma pšenice na pokazatelje kakvoće pšeničnih komina, sa posebnim naglaskom na konačni stupanj prevrenja kao kumulativni pokazatelj pogodnosti pojedine komine (od određene frakcije) za postupak vrenja. Pri tome će se ispitati i utjecaj stupnja usitnjavanja na udjele i strukturu dušičnih frakcija (fermentabilnih i nefermentabilnih). Rezultati ispitivanja bi trebali biti osnova za optimiranje postupka pripreme komina od pšenica različite tvrdoće i prirode staklavosti zrna.

### 3.2. MATERIJALI I METODE

#### 3.2.1. Odabir sorti pšenica za ispitivanje

Pšenica koja se koristila za ovo istraživanje je sorta Bezostaja, tvrda ozima pšenica. Sjetva je provedena na pokušalištu Poljoprivrednog instituta Osijek, u sezoni 2020./2021. Žetva je bila početkom srpnja 2021. godine. Ova pšenica je odabrana zbog svoje tvrdoće obzirom da se ovo istraživanje trebalo provesti na što tvrđoj pšenici da bi se dokazala hipoteza istraživanja. Pšenica je samljevena na granulaciju 1 mm te su se prosijavanjem dobile sitnije granulacije od 0,2 mm i <0,2 mm.

#### 3.2.2. Određivanje polaznih pokazatelja kakvoće pšenice

Polazni pokazatelji kakvoće pšenice (masa 1000 zrna, tvrdoća, udio staklavih zrna, udio proteina i udio škroba) su određeni na Poljoprivrednom institutu Osijek, na uređaju Infratec 1241 Grain Analyzer (Foss, Danska).

Priroda staklavosti određena je prema MEBAK metodi 4.1.3.5.1, a staklavost je određena nakon rezanja zrna pšenice rezačem za pšenicu.

### 3.2.3. Određivanje kakvoće pšeničnih komina

Parametri kakvoće pšenica odrađeni su u Žalecu (Slovenija) u Inštitutu za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije. Laboratorijske analize pšenice obavljene su prema propisima MEBAK<sup>®</sup> i EBC<sup>®</sup> analitike (**Tablica 4**). Obzirom da se u sladovinu dodaje maksimalno 50% neslađenih žitarica, komina je pripremljena koristeći 50% različite meljave pšenice Bezostaja i 50% slada.

**Tablica 4 Korištene metode za analizu pšeničnih komina prema Middle European Brewing Analysis Commission (MEBAK®) and Analytica-European Brewery Convention (EBC®)**

|                           | Jedinica    | MEBAK®       | EBC®    |
|---------------------------|-------------|--------------|---------|
| Vlaga                     | %           |              | 3.2/4.2 |
| Ekstrakt                  | %           | 3.3.1        |         |
| Specifična gustoća komine | g/mL        | 2.5.2.1      |         |
| Razlika ekstrakta         | %           | 4.1.4.2.10   |         |
| Vrijeme ošecerenja        | min         | 4.1.4.2.4.   |         |
| Vrijeme filtracije        | min         | 4.1.4.2.5.   |         |
| Ukupni N                  | % s. tv.    | 4.1.4.5.1.1. |         |
| Topivi N                  | mg/L        |              | 4.9.1   |
| Kolbach indeks            | %           | 4.1.4.5.3    |         |
| Hartong broj VZ 45 °C     | %           | 4.1.4.11.    |         |
| Konačna prevrelost        | %           |              | 4.11    |
| Izgled komine             | -           | 4.1.4.2.6    |         |
| Viskoznost                | mPas. 8.6%e | 4.1.4.4.2.   |         |
| Ekstrakt fini             |             | 4.1.4.2.2.   |         |
| Staklavost                | %           | 4.1.3.5.1    |         |
| α-amino dušik             | mg/L        |              | 4.10    |
| Visokomolekularni dušik   | mg/100 mL   |              |         |
| Srednjemolekularni dušik  | mg/100 mL   |              |         |
| Niskomolekularni N        | mg/100 mL   |              |         |
| Proteini                  | %           | 3.4          |         |

### 3.2.4. Statistička obrada podataka

Podaci su obrađeni u programu Excel 2010.

## **4. REZULTATI I RASPRAVA**

#### 4.1. REZULTATI ODREĐIVANJA POLAZNIH POKAZATELJA KAKVOĆE PŠENICA

**Tablica 5 Polazni pokazatelji kakvoće pšenice**

| uzorak    | masa<br>1000<br>zrna<br>(g) | tvrdoća<br>NIR-HD | V<br>ukupna<br>staklavost<br>(%) | PV<br>trajna<br>staklavost<br>(%) | TV<br>prolazna<br>staklavost<br>(%) | udio<br>proteina<br>(%) | udio<br>škroba<br>(%) |
|-----------|-----------------------------|-------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Bezostaja | 43,6                        | 77                | 58                               | 10                                | 90                                  | 12,6                    | 68,4                  |

U **Tablici 5** su prikazane vrijednosti osnovnih parametara kakvoće pšenice Bezostaja koja je korištena u istraživanju. Iz njih se može zaključiti da se radi o tvrdoj pšenici (NIR-HD =77) koja ima srednje visok udio proteina (12,6%) i prosječan udio škroba 68,4%. Slično istraživanje proveli su Krstanović i sur. (2020) na sorti pšenice koja je imala tvrdoću NIR-HD =56, dok je staklavost bila 24%. Da bi se utvrdila pogodnost endosperma pšenice za ukomljavanje određena je ukupna staklavost i udjel prolazne staklavosti u njoj klasičnom metodom za određivanje staklavosti endosperma ječma analitičkom priručniku MEBAK (Middle European Brewing Analysis Commission, 3rd ed. (4.1.3.5.1.). Iz rezultata u **Tablici 6** vidimo da je Bezostaja imala najviše zrna koja su klasificirana kao 100-80% staklavosti, dok je nakon namakanja (imitacija slađenja) imala vrlo mali postotak staklavih zrna (cca. 8%) pri čemu je postotak zrna koja su bila staklava u manjoj mjeri (odnosno više brašnava) pomakao do 32%. I prije namakanja i nakon namakanja je postotak brašnavosti (staklavost 0%) bio nizak i iznosio je 2% prije namakanja i 6% nakon namakanja. Ovo svojstvo je poželjno kod pšenice koja se koristi za ukomljavanje jer je njezin škrob pogodniji za enzimsku razgradnju.

**Tablica 6 Izdvojene vrijednosti za stupanj i prirodu staklavosti Bezostaje (prije i poslije namakanja)**

| uzorak          | stupanj staklavosti (%) |        |       |       |       |      |   |
|-----------------|-------------------------|--------|-------|-------|-------|------|---|
|                 | 100                     | 100-80 | 80-60 | 60-40 | 40-20 | 20-0 | 0 |
| prije namakanja | 18                      | 40     | 20    | 8     | 10    | 2    | 2 |
| nakon namakanja | 2                       | 8      | 8     | 30    | 32    | 14   | 6 |

## 4.2. REZULTATI ODREĐIVANJA POKAZATELJA KAKVOĆE PŠENIČNIH KOMINA

Tablica 7 Vrijednosti pokazatelja kvalitete komina (50% slad + 50% pšenica sorte Bezostaja)

sa različitim stupnjem usitnjenosti pšeničnog usipka

|                          | jedinica  | stupanj usitnjenosti endosperma |          |           |
|--------------------------|-----------|---------------------------------|----------|-----------|
|                          |           | ∅ 1 mm                          | ∅ 0,2 mm | ∅ <0,2 mm |
| Vlaga                    | %         | 10,1                            | 10,2     | 10,2      |
| Ekstrakt                 | %         | 72,1                            | 70,3     | 71,3      |
| Gustoća                  | g/mL      | 1,0323                          | 1,0319   | 1,0321    |
| Konačna prevrelost       | %         | 78,7                            | 88,9     | 88,4      |
| Ekstrakt fini            | %         | 76,03                           | 75,17    | 75,65     |
| Vrijeme ošećerenja       | min       | 20                              | 20       | 20        |
| Vrijeme filtracije       | min       | 20                              | 25       | 25        |
| Izgled komine            | /         | blago opalescentna              | bistra   | bistra    |
| Proteini                 | %         | 12,0                            | 11,9     | 12,7      |
| Topivi dušik             | mg/L      | 616                             | 594      | 582       |
| Topivi dušik u s.tv.     | %         | 0,59                            | 0,57     | 0,56      |
| Kolbach indeks           | %         | 27,6                            | 26,8     | 24,6      |
| Ukupni dušik             | mg/100 mL | 61,6                            | 59,4     | 58,2      |
| Visokomolekularni dušik  | mg/100 mL | 25,2                            | 24,5     | 23,4      |
| Srednjemolekularni dušik | mg/100 mL | 6,9                             | 5,7      | 6,7       |
| Niskomolekularni N       | mg/100 mL | 29,5                            | 29,2     | 28,1      |
| Alfa amino dušik         | mg/L      | 77,5                            | 68,7     | 66,6      |
| Viskoznost               | mPa s     | 1,417                           | 1,401    | 1,406     |
| Hartong 45               | /         | 28,7                            | 29,2     | 30,1      |

Prije razmatranja kvalitete komina treba napomenuti da je sastav usipka za pripremu komina bio 50% pšenica i 50% ječmeni slad. Zbog toga je korisno osvrnuti se na rezultate određivanja ekstrakta u samim pšeničnim frakcijama. Ovdje je vrlo zanimljivo da je najviše ekstrakta dobiveno iz grube meljave (∅ 1mm) zatim iz najfinije, dok je fina meljava (∅ 0,2mm) imala najniži udjel ekstrakta. Očekivani rezultat bi bio da fina meljava ima najviše ekstrakta.

Kod određivanja ostalih pokazatelja najprije se uočava da je udjel ekstrakta najviši u gruboj frakciji, zatim u najfinijoj, dok fina frakcija ima najnižu vrijednost što prati vrijednosti za ekstrakt u frakcijama zrna kako je već rečeno. Razlika ekstrakta između pojedinih frakcija ukazuje na lakoću ukomljavanja endosperma i poželjno je da je što manja, poželjno manja od 1%. Razlika između grube i fine frakcije je 0,86%, a grube i najfinije samo 0,38% što zapravo prati vrijednosti za ekstrakt. Nadalje, vrijeme ošćerenja i vrijeme filtracije su izuzetno dobri kod sve tri frakcije (<30 min) slične vrijednosti dobivene su i u radu Krstanović i sur. [\*]. Nejasno je zašto je kod grube frakcije dobiven blago opalescentan izgled komine, razlog bi mogao biti što kod frakcije grube meljave ima više sastojaka omotača zrna iz kojeg se mogu ekstrahirati obojene tvari tijekom ukomljavanja ili koji nisu podložni enzimskoj razgradnji, a prešli su u otopinu. Viskoznost je vrlo važan kumulativni pokazatelj kvalitete komina od pšeničnog usipka jer je pšenica bogata arabinoksilanima (pentozanima) koji su hidrokoloide koji se vežu s vodom i povećavaju viskoznost. Dobivene vrijednosti za viskoznost su zapravo jako dobre (ispod 1,6 mPa·s), a razlog tomu leži u svojstvu domaćeg sortimenta da ima niži udio pentozana u odnosu na sjevernoeuropske i u njemu vrlo nizak udio topljivih pentozana koji zapravo povisuju viskoznost (oko 10% za razliku od oko 30% u sjevernoeuropskim pšenicama) [Krstanović, \*]. Ovo je dobro kod primjene pšenice za proizvodnju piva ili alkoholnih pića ali je nepovoljno za pekarstvo.

Relativni ekstrakt na 45°C (Hartongov broj) ukazuje na aktivnost enzima citolize i proteolize. Najviše vrijednosti dobivene su za najfiniju frakciju, što ukazuje da je kod nje razgrađeno najviše neškrobnih dijelova zrna endosperma. Ako se ove vrijednosti usporede sa vrijednostima za Kolbachov indeks koji je kod ove frakcije daleko najmanji vidljivo je da je ona najopterećenija netopljivim sastojcima endosperma. Naime Kolbachov indeks je udjel topljivih u ukupnim proteinima i kako raste koncentracija topljivih proteina raste i on i obrnuto.

Topljivi dušik u komini prati vrijednost za ukupni dušik i oba opadaju od grube ka najfinijoj frakciji. Pri tome treba naglasiti da su vrijednosti za ukupni i topljivi za sve tri frakcije vrlo dobri s obzirom na polazne vrijednosti za proteine u zrnu (gruba 12%, fina 11,9% i najfinija frakcija 12,7%). S obzirom na polazni, najviši udjel proteina najfinija frakcija ima najniži udjel topljivog N u ukupnom N. Prilikom razmatranja vrijednosti za frakcije dušika odmah se uočava da visokomolekulska frakcija (HMW N) prati ukupni N i opada od grube ka najfinijoj frakciji. Kod srednjemolekulske dušične frakcije (MMW N) odmah se uočava da najfinija



frakcija ima vrijednost gotovo kao gruba, te značajno veću od fine. Ovaj veliki porast koncentracije MMW N u najfinijoj frakciji u odnosu na finu nije povoljan jer su i HMW N i MMW N nefermantabilni (kvasac ih ne može koristiti u svom metabolizmu), a izazivaju i druge procesne probleme (koloidna nestabilnost piva) [Krstanović, \*]. Naime dolazi do velikog opterećenja najfinije frakcije nefermentabilnim frakcijama dušika (proteinima visoke molekulske težine i osobito srednje molekulske težine) bez obzira na to što je ova frakcija imala očekivano najpovoljnije vrijednosti za ukupne topljive proteine N u odnosu na polazne vrijednosti za proteine u usipku (mljevenoj frakciji prije ukomljavanja). Niskomolekulska frakcija dušika (LMW N) je značajno niža i u finoj i osobito u najfinijoj frakciji u odnosu na grubu. Slične vrijednosti dobivene su i za slobodni  $\alpha$ -amino dušik (fermentabilni dušik iz aminokiselina, uz tzv. formolni ili dušik iz nižih peptida). Najfinija frakcija imala je nižu vrijednost za  $\alpha$ -amino N od fine i značajno nižu od grube. Uočava se da se povećanjem stupnja usitnjenosti endosperma smanjuju vrijednosti za proteine koji se značajno ne razlikuju između grube i fine meljave, dok kod najfinije čak i značajno rastu, ali se ukupni topljivi dušik te LMW N i  $\alpha$ -amino N smanjuju (kod najfinije frakcije značajno). Prema vrijednostima za Kolbachov broj najfinija frakcija ima najveći udio netopljivog N u ukupnom N, a prema vrijednostima za frakcije dušika komina dobivena od ove frakcije je najopterećenija nefermentabilnim sastojcima dušika u ukupnom topljivom N (osobito proteinima srednje molekulske mase) i najsiromašnija fermentabilnim sastojcima dušika.

### **4.3. RAZMATRANJE UTJECAJA STUPNJA USITNJENOSTI ENDOSPERMA NA KONAČNI STUPANJ PREVRENJA**

Radna hipoteza ispitivanja bila je postavljena tako da se očekivalo da će povećanjem stupnja usitnjenosti škrob endosperma biti pogodniji za proces ukomljavanja i posljedično ošećerenja i vrenja, te će se time dobiti veći konačni stupanj prevrenja komine. Naime, smanjenjem veličine čestica meljave će dijelovi endosperma postati fizički dostupniji djelovanju citolitičkih, proteolitičkih i amilolitičkih enzima, te će tako uspješnost ošećerenja endosperma rasti sa povećanjem stupnja usitnjenosti. Najznačajniji parametri preko kojih se može vidjeti uspješnost hipoteze jest konačni stupanj prevrelosti ispitivanih komina. Iz rezultata je vidljivo da prevrelost komine značajno raste od grube ka finoj meljavi. Najveće

vrijednosti za ovaj parametar mogu se uočiti kod fine meljave koja je 0,2 mm (88,9%) te kod vrlo fine meljave <0,2 mm (88,4%). Uočava se da je razlika između fine i najfinije frakcije vrlo mala i to u korist fine. Dakle povećanje stupnja usitnjenosti endosperma ispod 0,2 mm nije utjecalo na konačni stupanj prevrenja nego je čak nešto i opao. Krstanović i sur. (2020) su za prevrelost pšeničnih komina prikazali vrijednost od 89,8%. Dobiveni rezultati ukazuju da se povećanjem stupnja usitnjenosti endosperma komina opterećuje nefermentabilnim sastojcima dušika i smanjenjem fermentabilnog dušika. Razlog ovome može ležati upravo u tome što se povećanjem stupnja usitnjenosti poboljšala citoliza i proteoliza endosperma (Hortongov broj) što za posljedicu ima pojačano otapanje visokomolekulskih i srednjemolekulskih proteina, bez obzira na značajno smanjenje ukupnog topljivog N, jer se u njemu povećao udjel netopljivih frakcija (Kolbachov broj). Drugi razlog može biti taj što je ova frakcija osiromašila na fermentabilnim sastojcima dušika kako je već rečeno. Može se zaključiti da kod određivanja stupnja usitnjenosti endosperma treba voditi računa o ravnoteži između nastojanja da se što finijom meljavom on učini podobniji za enzimsku hidrolizu (osobito za djelovanje amilolitičkog kompleksa) i dodatnim opterećivanjem tako dobivenog usipka nefermentabilnim sastojcima, osobito dušičnim. Iz istraživanja je vidljivo da što se tiče konačnog stupnja prevrenja pšeničnih komina optimalna je vrijednost za finu meljavu ( $\varnothing$  0,2 mm).

## **5. ZAKLJUČCI**

---

Na osnovu rezultata istraživanja provedenih u ovom radu, mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- pšenica sorte Bezostaja može biti sirovina za pivarstvo ili proizvodnju etanola jer ima zadovoljavajuće vrijednosti za skoro sve određivane pokazatelje kvalitete
- povećanjem stupnja usitnjenosti endosperma smanjuju se vrijednosti za proteine u usipku koji se značajno ne razlikuju između grube i fine meljave, dok kod najfinije čak i značajno rastu
- prema vrijednostima za Kolbachov broj najfinija frakcija ima najveći udio netopljivog N u ukupnom N, a prema vrijednostima za frakcije dušika komina dobivena od ove frakcije je najopterećenija nefermentabilnim sastojcima dušika u ukupnom topljivom N (osobito proteinima srednje molekulske mase), dok je ujedno i najsiromašnija fermentabilnim sastojcima dušika
- povećanje stupnja usitnjenosti endosperma ispod 0,2 mm nije se povećao konačni stupanj prevrenja nego je čak i nešto opao
- stupanj prevrenja komina značajno raste od grube ka finoj meljavi, pri čemu je razlika između fine i najfinije frakcije vrlo mala i to u korist fine
- kod određivanja stupnja usitnjenosti endosperma treba voditi računa o ravnoteži između nastojanja da se što finijom meljavom on učini podobniji za enzimsku hidrolizu (osobito za djelovanje amilolitičkog kompleksa) i dodatnim opterećivanjem tako dobivenog usipka nefermentabilnim sastojcima, osobito dušičnim
- optimalna vrijednost stupnja usitnjenosti endosperma pšenice s obzirom na konačni stupanj prevrenja je  $\varnothing$  0,2 mm (fina meljava)

## **6. LITERATURA**

- Anić A.: Analiza kvalitete krušnog brašna. *Završni rad*. Veleučilište u Požegi, Požega, 2016.
- Baasandorj T.; Ohm J.-B.; Simsek S.: Effect of Dark, Hard and Vitreous Kernel Content on Protein Molecular Weight Distribution, and Milling and Breadmaking Quality Characteristics for Hard Spring Wheat Samples from Diverse Growing Regions. *Cereal Chemistry*, 92:6, 2015.
- Barić M.: Fizikalno-kemijska svojstva zrna i brašna sorti ozime pšenice roda 2017. godine. *Diplomski rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2018.
- Barišić A.: Primjena neslađenih sirovina u proizvodnji piva. *Završni rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2020.
- Bewley J.D., Black M.: Seeds, Physiology of development and germination (1985) Plenum Press, New York, p.42
- Blekić D.: Optimiranje postupka slađenja pšenice za proizvodnju dijastatskih sladova. *Diplomski rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2012.
- D'Appolonia BL, Gilles KA, Osman EM, Pomeranz Y: Carbohydrates. In *Wheat: chemistry and technology*. American Association for Clinical Chemistry, St. Paul, 1987.
- Faltermaier A.; Waters D.; Becker T.; Arendt E.; Gastl M.: Common wheat (*Triticum aestivum* L.) and its use as a brewing cereal – a review. *Institute of Brewing and Distilling*, 120:1–15, 2014.
- Gorretta N.; Roger J.M.; Aubert M.; Bellon-Maurel V.; Campan F.; Roumet P.: Determining vitreousness of durum wheat kernels using near infrared hyperspectral imaging. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 14:1, 2006.
- Grozaj K.: Ispitivanje sladarske kakvoće sorte pšenice Adriana. *Diplomski rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2010.
- Habschied K.; Šarkanj B.; Krstanović V., Tišma M.; Kramarić M.: Development of enzymatic activity in Wheat grain during germination process. U *Proceedings of the 7th International Congress FLOUR-BREAD 2013 - 9th Croatian Congress of Cereal Technologists*, str. 304-311. Faculty of Food Technology, Osijek, 2013.
- Kovačević, V., Rastija, M.: *Osnove proizvodnje žitarica* - interna skripta, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek, 2009
- Krstanović V.: Istraživanje postupaka slađenja domaćih sorti pšenica. *Disertacija*. Prehrambeno – biotehnološki fakultet, Zagreb, 2004.
- Krstanović V.; Habschied K.; Dvojković K.; Mastanjević K.: Research on the Malting Properties of Domestic Wheat Varieties. *Fermentation*, 7:1, 2021.

- Krstanović V.; Habschied K.; Kanižai G.; Lučan M.; Gagula G.: Study on influence of process parameters during malting on protein solubility in bread-Wheat varieties. U *Proceedings of the 5th International Congress FLOUR-BREAD 2009 - 7th Croatian Congress of Cereal Technologists*, str. 224-231. Faculty of Food Technology, Osijek, 2009.
- Krstanović V.; Habschied K.; Lukinac J.; Jukić M.; Mastanjević K.: The Influence of Partial Substitution of Malt with Unmalted Wheat in Grist on Quality Parameters of Lager Beer. *Beverages*, 6:7, 2020.
- Krstanović V.; Mastanjević K.; Nedović V.; Mastanjević K.: The Influence of Wheat Malt Quality on Final Attenuation Limit of Wort. *fermentation*, 5:4, 2019.
- Kunze W.: *Technology Brewing and Malting*, 2nd revised Edition (1999). VLB Berlin, pp.162-163
- Marić V.: *Tehnologija piva*. Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2009.
- Markovac K.: Utjecaj temperature i vlažnosti tijekom klijanja na citolitičku razgradnju zrna pšenice. *Diplomski rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2013.
- MEBAK. Brautechnische Analysenmethoden, Bd. 1, 3. izdanje (1997.)
- Middle European Brewing Analysis Commission), Brautechnische Analysenmethoden 3. ed. Band I (1997) i Band II (1993), Selbstverlag der MEBAK Freising-Weihenstephan
- Narziss L.: *Die Technologie Der Malzbereitung*, 7 ed., (1999) F. Enke, Stuttgart, pp.25-30, 422-429
- Sacher B.: Trials for the optimisation of use of soft-wheat varieties in malting and brewing. *Dissertation*, TU München-Weihenstephan., München 1998. pp.43-48
- Velikanović V.: Klasifikacija zrna ozime pšenice određivanjem geometrijskih značajki zrna računalnom analizom slike. *Diplomski rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2018.
- Žeželj, M.: *Tehnologija žita i brašna*. NIP Glas javnosti doo, Beograd, 2005.