

# Tehnologija proizvodnje i analiza craft piva "Brucošica"

---

**Bulaš, Natalija**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split, Faculty of Chemistry and Technology / Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:167:257265>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-04**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of chemistry and technology - University of Split](#)



**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
KEMIJSKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET**

**TEHNOLOGIJA PROIZVODNJE I ANALIZA CRAFT PIVA „BRUCOŠICA“**

**DIPLOMSKI RAD**

**NATALIJA BULAŠ  
MATIČNI BROJ: 35**

**Split, rujan 2022.**



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**KEMIJSKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET**  
**DIPLOMSKI STUDIJ PREHRAMBENA TEHNOLOGIJA**

**TEHNOLOGIJA PROIZVODNJE I ANALIZA CRAFT PIVA „BRUCOŠICA“**

**DIPLOMSKI RAD**

**NATALIJA BULAŠ**

**Matični broj: 35**

**Split, rujan 2022.**

**UNIVERSITY OF SPLIT  
FACULTY OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY**

**PRODUCTION AND ANALYSIS OF CRAFT BEER "BRUCOŠICA"**

**DIPLOMA THESIS**

**NATALIJA BULAŠ**

**Parent number: 35**

**Split, September 2022.**

Sveučilište u Splitu  
Kemijsko-tehnološki fakultet u Splitu  
Diplomski studij Prehrambena tehnologija

**Znanstveno područje:** Biotehničke znanosti

**Znanstveno polje:** Kemija hrane

**Tema rada je prihvaćena na 25. izvanrednoj sjednici Fakultetskog vijeća Kemijsko-tehnološkog fakulteta**

**Mentor:** Izv. prof. dr. sc. Ivana Generalić Mekinić

### TEHNOLOGIJA PROIZVODNJE I ANALIZA CRAFT PIVA „BRUCOŠICA“

Natalija Bulaš, 35

#### Sažetak:

Pivo je jedno od najstarijih alkoholnih pića u svijetu, a sam postupak proizvodnje se tijekom stoljeća nije značajno mijenjao. Međutim, tehnološki napredak tijekom godina je omogućio da se proizvodnja piva unaprijedi u smislu poboljšanja arome i okusa. Posljednjih nekoliko godina se dogodila prava revolucija u proizvodnji piva u kojoj su ključnu ulogu imali proizvođači specijalnih i *craft* piva. *Craft* piva se obično proizvode u malim pivovarama po izvornim, tradicionalnim recepturama u ograničenim količinama, a jedna od njihovih glavnih karakteristika je da su nefiltrirana i nepasterizirana. Uz to, pridaje se velika važnost i samoj kvaliteti te autentičnosti, a sve češće se tijekom proizvodnje dodaju različite arome voća i biljaka koje doprinose jedinstvenosti i osebnosti finalnog proizvoda. U ovom radu je osmišljeno i proizvedeno *craft* pivo „Brucosića“ pomoću „Grainfather“ sustava te se provela fizikalno – kemijska analiza istog. Dobiveno pivo odlikuju vrlo dobra organoleptička svojstva, dok je analiza istog pokazala blaga odstupanja od očekivanih vrijednosti ispitivanih parametara (prvenstveno IBU i EBC vrijednosti) čemu su najvjerojatniji razlog oksidacijski procesi.

**Ključne riječi:** *craft* pivo, „Grainfather“, APA, fizikalno – kemijska analiza

**Rad sadrži:** 36 stranica, 22 slike, 4 tablice, 46 literaturnih referenci

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Sastav Povjerenstva za obranu:**

1. Izv. prof. dr. sc. Ivica Blažević, predsjednik
2. Prof. dr. sc. Sandra Svilović, član
3. Izv. prof. dr. sc. Ivana Generalić Mekinić, mentor

**Datum obrane:** 20. rujna 2022.

**Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u Knjižnici Kemijsko-tehnološkog fakulteta Split, Ruđera Boškovića 35.**

## BASIC DOCUMENTATION CARD

## DIPLOMA THESIS

**University of Split**  
**Faculty of Chemistry and Technology Split**  
**Food Technology**

**Scientific area:** Biotechnical sciences

**Scientific field:** Food Technology

**Thesis subject** was approved by Faculty Council of Faculty of Chemistry and Technology, session no. 25

**Mentor:** Ph.D. Ivana Generalić Mekinić, Assoc. Prof

### PRODUCTION AND ANALYSIS OF CRAFT BEER "BRUCOŠICA"

Natalija Bulaš, 35

#### **Abstract:**

Beer is one of the oldest alcoholic beverages in the world, and the production process itself has not changed significantly over the centuries. However, technological progress over the years has made it possible to improve beer production in terms of improving aroma and taste. In the last few years, a real revolution has taken place in the production of beer, in which producers of special and craft beers have played a key role. Craft beers are usually produced in small breweries according to original, traditional recipes in limited quantities, and one of their main characteristics is that they are unfiltered and unpasteurized. In addition, great importance is also attached to the quality and authenticity itself, and more frequently, during production, different aromas of fruits and plants are added, which contribute to the uniqueness and distinctiveness of the final product. In this thesis, the craft beer "Brucošica" was designed and produced using the "Grainfather" system, and its physico – chemical analysis was carried out. The obtained beer is characterized by very good organoleptic properties, while its analysis showed slight deviations from the expected values of the examined parameters (primarily IBU and EBC values), the reason for which is oxidation processes

**Keywords:** craft beer, "Grainfather", APA, physico – chemical analysis

**Thesis contains:** 36 pages, 22 figures, 4 tables, 46 references

**Original in:** Croatian

#### **Defence committee:**

1. Ph. D. Ivica Blažević, Assoc. Prof
2. Ph. D. Sandra Svilović, Full Prof.
3. Ph. D. Ivana Generalić Mekinić, Assoc. Prof

**Defence date:** 20<sup>th</sup> September 2022

**Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in** Library of Faculty of Chemistry and Technology Split, Ruđera Boškovića 35.

*Diplomski rad je izrađen u Zavodu za prehrambenu tehnologiju i biotehnologiju, Kemijsko-tehnološkog fakulteta u Splitu pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Ivane Generalić Mekinić u razdoblju od veljače do rujna 2022. godine.*

*Ovaj rad je izrađen u sklopu studentskog projekta pod nazivom „Osvježi svoje rokove – uz dobro pivo lakše pamtim štivo“ koji je financiran u sklopu Natječaja za financiranje studentskih programa Studentskog zbora Sveučilišta u Splitu (KLASA:003-08/21-05/06, Ur. Br. 2181-202-3-01-21-3).*



## ZAHVALA

*Hvala mentorici izv. prof. dr. sc. Ivani Generalić Mekinić na pomoći, danim savjetima, idejama i pruženom vremenu tijekom izrade ovog rada. Zahvaljujem se članovima Povjerenstva za obranu rada na izdvojenom vremenu te Studentskom zboru bez kojih se projekt „Osvježi svoje rokove – uz dobro pivo lakše pamtim štivo“ ne bi mogao provesti. Također, od srca hvala mojoj obitelji koja me podupire na mom životnom putu.*

## ZADATAK DIPLOMSKOG RADA

Zadatak ovog diplomskog rada bio je osmisliti recept i proizvesti *craft* pivo korištenjem „Grainfather“ sustava te provesti njegovu fizikalno – kemijsku analizu koja je uključivala određivanje šećera/suhe tvari, pH vrijednosti, gorčine i boje dobivenog piva.

## SAŽETAK

Pivo je jedno od najstarijih alkoholnih pića u svijetu, a sam postupak proizvodnje se tijekom stoljeća nije značajno mijenjao. Međutim, tehnološki napredak tijekom godina je omogućio da se proizvodnja piva unaprijedi u smislu poboljšanja arome i okusa. Posljednjih nekoliko godina se dogodila prava revolucija u proizvodnji piva u kojoj su ključnu ulogu imali proizvođači specijalnih i *craft* piva. *Craft* piva se obično proizvode u malim pivovarama po izvornim, tradicionalnim recepturama u ograničenim količinama, a jedna od njihovih glavnih karakteristika je da su nefiltrirana i nepasterizirana. Uz to, pridaje se velika važnost i samoj kvaliteti te autentičnosti, a sve češće se tijekom proizvodnje dodaju različite arome voća i biljaka koje doprinose jedinstvenosti i osebujnosti finalnog proizvoda. U ovom radu je osmišljeno i proizvedeno *craft* pivo „Brucošica“ pomoću „Grainfather“ sustava te se provela fizikalno – kemijska analiza istog. Dobiveno pivo odlikuju vrlo dobra organoleptička svojstva, dok je analiza istog pokazala blaga odstupanja od očekivanih vrijednosti ispitivanih parametara (prvenstveno IBU i EBC vrijednosti) čemu je najvjerojatniji razlog oksidacijski procesi.

**Ključne riječi:** *craft* pivo, „Grainfather“, APA, fizikalno – kemijska analiza

## **SUMMARY**

Beer is one of the oldest alcoholic beverages in the world, and the production process itself has not changed significantly over the centuries. However, technological progress over the years has made it possible to improve beer production in terms of improving aroma and taste. In the last few years, a real revolution has taken place in the production of beer, in which producers of special and craft beers have played a key role. Craft beers are usually produced in small breweries according to original, traditional recipes in limited quantities, and one of their main characteristics is that they are unfiltered and unpasteurized. In addition, great importance is also attached to the quality and authenticity itself, and more frequently, during production, different aromas of fruits and plants are added, which contribute to the uniqueness and distinctiveness of the final product. In this thesis, the craft beer "Brucošica" was designed and produced using the "Grainfather" system, and its physico-chemical analysis was carried out. The obtained beer is characterized by very good organoleptic properties, while its analysis showed slight deviations from the expected values of the examined parameters (primarily IBU and EBC values), the reason for which is oxidation processes.

**Keywords:** craft beer, "Grainfather", APA, physico – chemical analysis

# SADRŽAJ

<b>UVOD</b> .....	1
<b>1. OPĆI DIO</b> .....	2
1.1. Sirovine za proizvodnju piva .....	2
1.1.1. Pivski slad.....	2
1.1.2. Voda .....	3
1.1.3. Hmelj .....	4
1.1.4. Pivski kvasac .....	5
1.2. Tipovi i vrste piva .....	6
1.2.1. Podjela piva prema vrsti kvasca .....	7
1.2.2. Podjela piva prema boji .....	8
1.2.3. Podjela piva prema vrsti slada.....	9
1.2.4. Podjela piva prema udjelu ekstrakta u sladovini .....	10
1.2.5. Podjela piva prema volumnom udjelu alkohola .....	10
1.3. Tehnologija proizvodnje <i>craft</i> piva.....	10
1.3.1. Tehnologija slada.....	11
1.3.1.1. Mljevenje slada i ukomljavanje .....	11
1.3.1.2. Kuhanje sladovine s hmeljom.....	12
1.3.1.3. Hlađenje sladovine.....	12
1.3.2. Tehnologija piva .....	13
1.3.2.1. Fermentacija.....	13
1.3.2.2. Sekundarna fermentacija u boci.....	14
1.3.2.3. Punjenje .....	14
<b>2. EKSPERIMENTALNI DIO</b> .....	16
2.1. Grainfather sustav .....	16
2.1.1. Grainfather G30 .....	16
2.1.2. Grainfather GF30 i glikolni rashladni uređaj GC4.....	17
2.2. Materijali .....	19
2.3. Reagensi .....	21
2.4. Uređaji.....	21
2.5. Proizvodnja craft piva American Pale Ale (APA) .....	22
2.6. Metode analize sladovine i piva .....	28
2.6.1. Određivanje šećera/suhe tvari u pivu .....	28
2.6.2. Određivanje pH vrijednosti piva .....	28
2.6.3. Određivanje gorčine piva .....	29
2.6.4. Određivanje boje piva.....	29

2.6.4.1. EBC vrijednosti.....	29
3. <b>REZULTATI I RASPRAVA</b> .....	30
4. <b>ZAKLJUČAK</b> .....	33
5. <b>LITERATURA</b> .....	34

## UVOD

Pivo je jedno od najstarijih alkoholnih pića u svijetu, a sam postupak proizvodnje se tijekom stoljeća nije značajno mijenjao. Ono spada u alkoholna pića koja se proizvode kuhanjem i fermentacijom iz slada, hmelja i vode, uz dodatak pivskog kvasca. Međutim, tehnološki napredak tijekom godina je omogućio da se proizvodnja piva unaprijedi i postane učinkovitija u smislu poboljšanja arome i okusa. Posljednjih nekoliko godina se dogodila prava revolucija u proizvodnji piva u kojoj su ključnu ulogu imali proizvođači specijalnih i *craft* piva što je rezultiralo time da danas na tržištu imamo preko 150 različitih pivskih stilova.

Ne postoji jedinstvena definicija *craft* piva, a iza njegove popularnosti stoji velika brojnost i različitost sorti hmelja. *Craft* piva se obično proizvode u malim pivovarama po izvornim, tradicionalnim recepturama u ograničenim količinama, a jedna od njihovih glavnih karakteristika je da su nefiltrirana i nepasterizirana. Osim tradicionalnih sastojaka koja su učestala u pivskoj proizvodnji, vrlo često se u recepturama nađu i zanimljivi, netipični sastojci dodani kako bi doprinijeli posebnoj organoleptičkoj noti i prepoznatljivosti proizvoda.

*Craft* pivari također imaju specifične, uglavnom individualne pristupe plasiranja piva na tržište te povezivanja sa svojim kupcima. Istraživanja pokazuju da potrošači *craft* piva traže široku paletu pivskih stilova i okusa što često uključuje konzumaciju visoko inovativnih piva, od kojih neka imaju visoku razinu hmelja, jake profile okusa i / ili visok udio alkohola. Uz to, pridaje se velika važnost i samoj kvaliteti te autentičnosti, a sve češće se tijekom proizvodnje dodaju različite arome voća i biljaka koje doprinose jedinstvenosti i osebnosti finalnog proizvoda.

Cilj ovog diplomskog rada bio je osmisliti i proizvesti *craft* pivo pomoću „Grainfather“ sustava te provesti fizikalno – kemijsku analizu istog.

## **1. OPĆI DIO**

Pivarstvo je ljudska djelatnost koja se pojavila sa samim počecima urbanizacije u neolitskom razdoblju [1], a prvi pisani dokazi o proizvodnji piva pronađeni su u Babilonu i potječu iz razdoblja 3000 p.n.e. Prvo pivo nastalo je spontanom fermentacijom tijesta kod kojeg je došlo do inokulacije divljim sojevima kvasaca iz okoliša. Ipak, tada proizvedena piva bitno su se razlikovala od današnjih jer su bila mutna i podložna kvarenju, a sam postupak proizvodnje bio je zanatsko umijeće budući da ni sami pivari nisu znali uzroke promjena koje se događaju tijekom proizvodnje i čuvanja. [2, 3]

Naziv pivo se počeo koristiti u razdoblju između 6. i 7. stoljeća kada se tijekom proizvodnog procesa počeo dodavati i hmelj čijom uporabom je pivo počelo sve više nalikovati današnjem. Bile su potrebne tisuće godina za usavršavanje postupka proizvodnje piva, no zbog razvoja znanosti i tehnologije industrijalizacija u polovici 19. stoljeća stvorila je preduvjete za industrijsku proizvodnju piva diljem svijeta. [3]

### **1.1. Sirovine za proizvodnju piva**

#### **1.1.1. Pivski slad**

Slad predstavlja zrno neke žitarice (ječam, pšenica, heljda, itd.) koje je različitim tehnološkim postupcima dovedeno do stadija klijanja i potom podvrgnuto procesu sušenja. [4, 5] U fazi klijanja u zrnu se sintetiziraju enzimi koji su bitni za hidrolizu fermentabilnih šećera, a kada ih se sintetizira dovoljno, klijanje se prekida i slijedi sušenje. [3] Zeleni slad se suši pod različitim uvjetima (vrijeme, temperatura) kako bi se dobio slad različitih svojstava, boje i okusa. [5]

Prema tehnološkim značajkama razlikujemo svijetli, tamni, karamelni, kiseli, dimljeni i prženi slad. Punoća okusa i koncentracija ekstrakta piva ovisi prvenstveno o samom sladu. Pivski slad proizvodi se od ječma i pšenice pa shodno tome razlikujemo ječmeni i pšenični slad. [4, 5] Također, u pivarstvu se koriste bazni sladovi koji imaju suptilan efekt, ali su odlučujući za konačni pivski stil. Oni su osnova strukture piva obzirom da su glavni izvori ugljikohidrata, proteina i enzima. [6]





*Slika 1.* Različite vrste pivskog slada [7]

### **1.1.2. Voda**

U kemijskom sastavu piva prevladava voda čiji udio se obično kreće od 85 do 95 % što je čini osnovnom sirovinom za proizvodnju piva te osnovnim sastojkom konačnog proizvoda. [4, 8]

U prirodnoj vodi se nalazi manja ili veća količina raznih otopljenih mineralnih tvari koje predstavljaju tek neznatan dio ekstrakta piva, ali izrazito utječu na njegov okus. Minerali osobito utječu na enzimske i koloidno-kemijske reakcije do kojih dolazi prilikom proizvodnje piva. [9]

Veliki utjecaj na karakteristike piva imaju odlike same vode, odnosno njen sastav i tvrdoća pa obično razlikujemo münchenski, plzenski, dortmundski i bečki tip vode. Općenito, za proizvodnju svijetlih piva se koristi mekša voda, dok se tvrda voda koristi u proizvodnji tamnih piva. Najvažnije je ipak da se u proizvodnom postupku koristi mikrobiološki i kemijski ispravna voda, bez obzira na njen tip i kemijski sastav. [4]

### 1.1.3. Hmelj

Hmelj, ženski cvjetovi biljke *Humulus lupulus* L., je prvenstveno sastojak koji uzrokuje specifičnu gorčinu piva te utječe na njegovu aromu. Osim toga, sastojci hmelja imaju antimikrobno djelovanje, stoga služi i kao konzervans. [4, 10, 11] Također, dodatak hmelja pospješuju taloženje bjelančevina, odnosno bistrenje sladovine i piva te djeluju pozitivno na stabilnost pjene. [4]

Hmelj se dodaje tijekom faze kuhanja u količini koja je neznatna u odnosu na količinu slada pa je dovoljno samo nekoliko grama hmelja kako bi isti postao ključni sastojak piva. [12] Miris i okus hmelja, ovisno o dodanoj količini i vremenu dodavanja, zaslužni su za karakter i specifičnosti piva. [13] Najvažniji kemijski spojevi hmelja su  $\alpha$ -kislina ili humuloni koji se prilikom kuhanja konvertiraju u izo- $\alpha$ -kislina. Za razliku od  $\alpha$ -kiselina, izo- $\alpha$ -kislina su topljive u sladovini čime pridonose gorčini piva. [5] Oblici hmelja koji se koriste u proizvodnji piva su šišarice, prah, pelete i ekstrakt (*slika 2*). [3]



*Slika 2.* Šišarice, pelete i prah hmelja [14]

### 1.1.4. Pivski kvasac

Kvasac je jednostanični, kemoorganotrofni, fakultativno aerobni eukariot čiji je izvor energije glukoza, odnosno produkti oksidativne razgradnje glukoze, zatim ostali ugljikohidrati te glukogeni supstrati (etanol, glicerol, mliječna i octena kiselina). U proizvodnji piva najčešće se koriste sojevi kvasaca *Saccharomyces cerevisiae*, *Saccharomyces pastorianus* i *Saccharomyces carlsbergensis*. U stanici kvasca se, pri aerobnim uvjetima, odvija potpuna oksidacija ugljikohidrata čime nastaje voda, ugljikov dioksid te značajne količine biomase i topline. U anaerobnim uvjetima kvasac konvertira ugljikohidrate do etanola i ugljikova dioksida pri čemu nastaje mala količina biomase. [15]

Dakle, dodatkom kvasaca šećeri iz sladovine se prevode u alkohol, ugljikov dioksid i ostale nusprodukte vrenja. [4] Uz etanol i glicerol, koji su glavne komponente nastale fermentacijom, od ostalih tvari koje direktno utječu na kvalitetu piva ističu se organske kiseline, osobito octena, mliječna i jantarna kiselina, koje nastaju uglavnom kao produkt metabolizma kvasaca. [16]

Na tržištu kvasac najčešće nalazimo u dva oblika, kao suhi (dehidrirani) i tekući. [11]



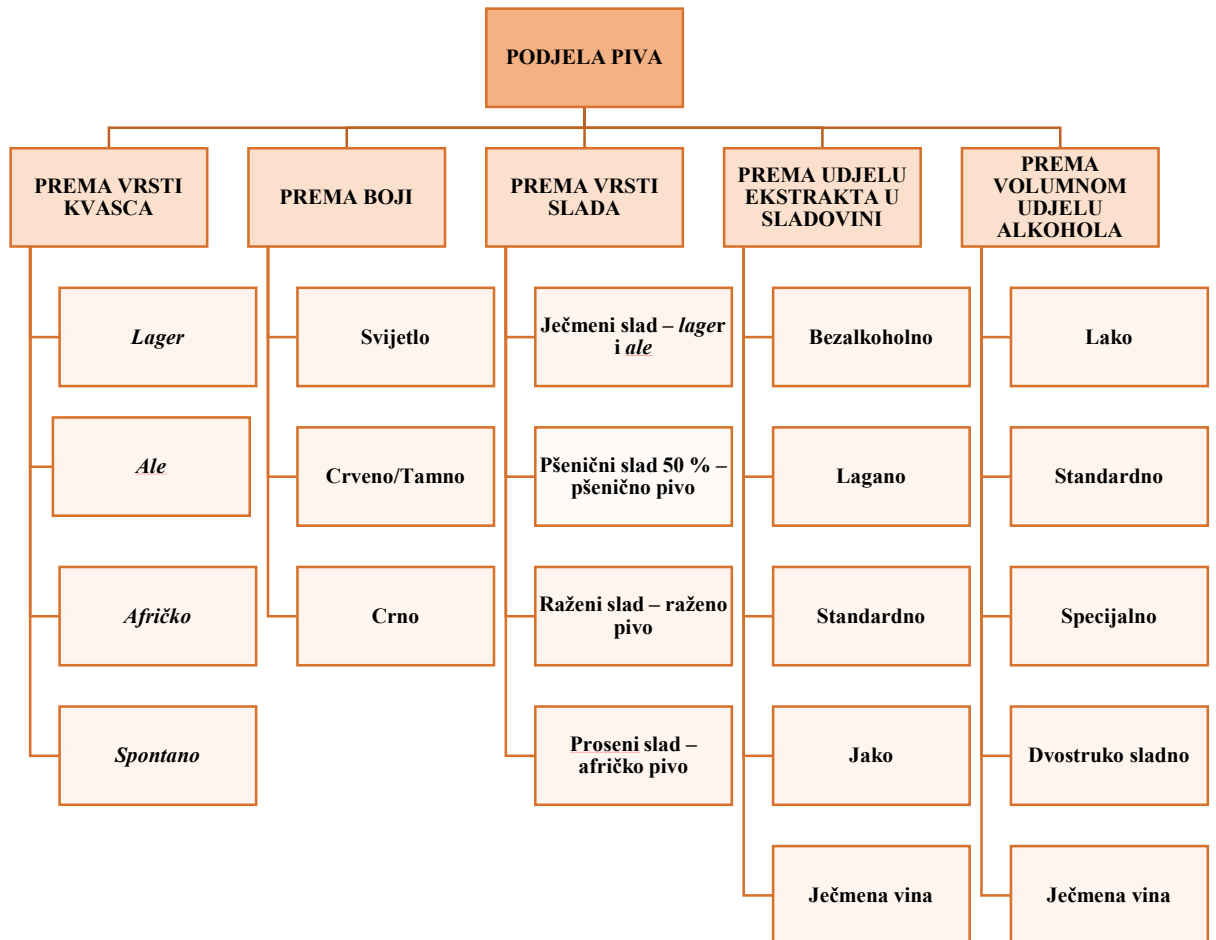
**Slika 3.** Dehidrirani pivski kvasac [17]



**Slika 4.** Tekući pivski kvasac [18]

## 1.2. Tipovi i vrste piva

Podjela piva na različite tipove strogo je definirana brojnim pravilnicima o kvaliteti piva proizašlim iz pivarske prakse, a rezultat je složenih tehnoloških procesa tijekom njegove proizvodnje. [19]



**Slika 5.** Shematski prikaz osnovne podjele piva; prema vrsti kvasca, boji, vrsti slada, udjelu ekstrakta u sladovini i volumnom udjelu alkohola [5]

### 1.2.1. Podjela piva prema vrsti kvasca

Najčešći tipovi piva obzirom na vrstu korištenih kvasaca:

- **Lager** ili *piva donjeg vrenja* su piva proizvedena pomoću čiste kulture pivskog kvasca *Saccharomyces uvarum* koji se tijekom fermentacije talože na dnu fermentacijske posude što rezultira bistrim i prozirnim pivom. *Lager* predstavlja najrašireniji tip piva u svijetu kod kojeg se fermentacija zbiva pri nižim temperaturama (oko +5 °C), a ova piva imaju punoću zahvaljujući velikom udjelu neprevrelog ekstrakta, izražene su gorčine i arome po hmelju. Također, *lager* piva imaju bogatu i trajnu pjenu, a popularna su i zbog svoje svježine. [5, 11, 20]
- **Ale** ili *piva gornjeg vrenja* su piva proizvedena s kvascem *Saccharomyces cerevisiae* koji se tijekom fermentacije obično izdigne na vrh fermentacijske posude, što rezultira mutnijim pivom. [20] Pivo tipa *ale* proizvodi se tzv. toplom fermentacijom koja se odvija pri temperaturama između 16 i 24 °C nakon čega se stanice kvasca dižu na površinu medija za fermentaciju, stvarajući debeli film. [8] Za razliku od *lager* piva, ova vrsta piva ima viši udio alkohola, složeniju aromu i okus s izraženim voćnim i začinskim karakterom. [20]
- **Afrička piva** su manje poznata piva koja se ne proizvode od ječmenog već od prosenog slada korištenjem specifične vrste kvasca *Schizomyces pombe* koja je prilagođena ekstremnim klimatskim uvjetima i fermentaciji pri temperaturama od 30 do 40 °C.
- **Spontano prevrela piva** dobivena su pomoću „divljih“, neselekcioniranih sojeva kvasaca koji u sladovinu dospjevaju iz okoliša (zraka, s posuđa ili zidova prostorija) te vrlo često daju poseban *bouquet* (vinski, voćni i fenolni) samom pivu. [19]

### 1.2.2. Podjela piva prema boji













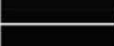
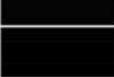
Boja piva važno je senzorsko svojstvo, odnosno prvo koje potrošač opaža. Dvije su standardne metode koje se zasnivaju na mjerenju absorpcije prihvaćene za određivanje boje piva; jedna je povezana s European Brewing Convention (EBC), a druga je Standard Reference Method (SRM). [21]

Piva se prema boji dijele na [5]:

- **svijetla** - piva s intenzitetom boje do 15 EBC jedinica,
- **crvena ili tamna** - piva s intenzitetom boje od 16 do 40 EBC jedinica i
- **crna** - piva s intenzitetom boje iznad 40 EBC jedinica.

Sama boja piva proizlazi od boje korištenog slada, a tamna boja slada je najčešće rezultat sušenja i potječe od reakcija karamelizacije šećera i Maillardovih reakcija kod kojih kao produkti nastaju melanoidini spojevi. [12]

*Pilsner* je bezbojno *lager* pivo koje bi izvorno trebalo biti proizvedeno u češkom gradu Pilsenu (Plzeň). Voda koja se koristi za ovaj stil piva obično je tvrđa, s većim udjelom kalcija i magnezija od uobičajene vode koja se koristi u proizvodnji *lagera*. Boja *pilsnera* je također svjetlija. Vrlo tamno pivo je *porter*, a tamnija boja i poseban okus su rezultat tostiranja slada prije kuhanja. Ovaj stil piva obično ima jači okus i viši udio alkohola. Također, vrlo tamno, gotovo crno pivo je i *stout* čija tamna boja i okus po pečenju potječu od pečenog ječma i/ili prženog slada. [20]

SRM/Lovibond	Primjer	Boja piva	EBC
2	Svijetli lager		4
3	Pilsner		6
4	Pilsner Uguell		8
6			12
8	Pšenično		16
10	Svijetli ale		20
13			26
17	Tamni lager		33
20			39
24			47
29	Porter		57
35	Stout		69
40			79
70	Vrhunski Stout		138

*Slika 6.* Standardne metode za određivanje boje piva SRM i EBC [22]

### 1.2.3. Podjela piva prema vrsti slada

Osnovna sirovina za proizvodnju većine *lager* i *ale* piva je ječam, točnije ječmeni slad, a osim njega se još mogu koristiti pšenični, proseni i raženi slad. Slad se može djelomično zamijeniti ostalim sirovinama bogatim škrobom kao što su riža ili kukuruz što mora biti istaknuto na deklaraciji piva. [5, 20]

*Pšenično* ili tzv. *bijelo pivo* se dobije zamjenom najmanje 50 % ječmenog slada pšeničnim, a tradicionalna europska pšenična piva su piva gornjeg vrenja. U Europi postoji i *raženo pivo* proizvedeno od raženog slada, ali se rijetko proizvodi zbog svojstvenog okusa koji je vrlo često neprihvatljiv za većinu potrošača. Kako je već navedeno, proseni slad se koristi u proizvodnji tzv. *afričkog piva*. [3]

#### 1.2.4. Podjela piva prema udjelu ekstrakta u sladovini

Prema udjelu ekstrakta razlikujemo sljedeće tipove piva:

- **slaba ili laka** piva koja imaju nizak udio alkohola i neprevrelog ekstrakta,
- **standardna piva** koja se proizvode od sladovine s 10-12 % ekstrakta s udjelom alkohola 3,5-5,5 %,
- **specijalna piva** kod kojih sladovina od koje se proizvode sadrži preko 12 % ekstrakta pa samim time ta piva imaju veći udio neprevrelog ekstrakta zbog čega se još nazivaju i „punim“ pivima,
- **dvostruka sladna piva** proizvode se od sladovine s 18-22 % ekstrakta i nazivaju se „jakim“ pivima jer imaju viši udio alkohola i neprevrelog ekstrakta,
- **ječmena vina** sadrže udio alkohola kao i vina, a zbog dodatno visokog udjela neprevrelog ekstrakta prilično su „teška“ pa se obično konzumiraju u malim količinama kao desertno piće. [5, 23]

#### 1.2.5. Podjela piva prema volumnom udjelu alkohola

Prema udjelu volumnog alkohola piva se dijele na [5, 22]

- **bezalkoholna piva** koja sadrže do 0,5 % vol. alkohola, osim u islamskim zemljama gdje pivo s tim nazivom ne smije sadržavati alkohol,
- **lagana piva** sadrže do 3,5 % vol. alkohola,
- **standardna lager i ale piva** koja sadrže preko 3,5 % vol. alkohola,
- **jaka piva** koja sadrže više od 5,5 % vol. alkohola, te
- **ječmena vina** koja sadrže preko 8 % vol. alkohola.

### 1.3. Tehnologija proizvodnje *craft* piva

Proizvodnja *craft* piva je složeni biotehnološki proces koji dovodi do pretvorbe vode, žitarica i hmelja posredstvom kvasca u pivo. U osnovi velika raznolikost tipova piva je posljedica primjene različitih uvjeta (temperatura, vrsta sirovine, vrsta kvasaca, itd.) tijekom procesa proizvodnje. [20]



Općenito, proces proizvodnje *craft* piva može se podijeliti u dvije faze, na tehnologiju slada i tehnologiju piva. [11, 24]

### **1.3.1. Tehnologija slada**

#### **1.3.1.1. Mljevenje slada i ukomljavanje**

Operacija mljevenja ima također važnu ulogu u procesu proizvodnje piva jer se u ovom koraku razara ljuska ječma kako bi se došlo do endosperma, odnosno škroba. Ako zrna ječma nisu pravilno samljevena, to će posebice utjecati na kemijski sastav sladovine nakon kuhanja. Ukoliko se zrna previše usitne, voda neće moći ispravno teći kroz zrnenu masu, a to može uzrokovati tzv. „zaglavljenje“. U suprotnom, nedovoljno samljevena zrna uzrokovat će manjak dostupnog škroba za enzimsku razgradnju, a time i za fermentaciju. [25]

Ukomljavanje je jedinični proces u kojem se mljeveni krupni slad miješa s vrućom vodom pri čemu se veliki i složeni kemijski spojevi (škrob, proteini i nukleinske kiseline) prisutni u zrnju ječma djelomično ili potpuno razgrađuju na jednostavnije spojeve (jednostavne šećere, aminokiseline i nukleotide) pomoću hidrolitičkih enzima koji se aktiviraju tijekom klijanja ječma (slađenja). [26]

Ključna promjena tijekom postupka ukomljavanja je razgradnja želatiniranih ugljikohidrata (uglavnom škroba) do fermentabilnih oblika šećera. [27] Procesom želatinizacije škrobne granule postupno apsorbiraju vodu i bubre, a potom pucaju pri čemu škrob prelazi u vodotopivi oblik (škrobni lijepak). [28] Zatim slijedi proces likvefakcije, prilikom čega se dugački lanci glukoznih jedinica škroba cijepaju do dekstrina djelovanjem enzima  $\alpha$ -amilaze. Djelovanjem  $\beta$ -amilaze dekstrin se razgrađuje do maltoze, ali zbog neparvog broja glukoznih jedinica u dekstrinskim lancima nastaju i drugi šećeri kao glukoza i maltotrioza. [3, 29, 30]

### 1.3.1.2. Kuhanje sladovine s hmeljom

Glavna uloga kuhanja sladovine s hmeljom je dodatak gorčine za što su zaslužne  $\alpha$ -kiseline koje se oslobađaju kuhanjem. Osim toga, ova jedinična operacija inaktivira enzime te uzrokuje nastajanje proteinski-taninskih spojeva čime se pospješuje taloženje i povećanje obojenosti (melanoidi). [3]

Brojni sastojci hmelja su hlapljivi i/ili podložni oksidaciji, stoga tijekom kuhanja hmelja nastaje različit profil spojeva u odnosu na izvorne spojeve hmelja. Neizbježan zaključak je da vrlo kompleksan sastav hmeljnih ulja postaje još složeniji tijekom vrenja sladovine. [12] Ako se želi postići izražena gorčina piva, hmeljevi s visokim udjelom  $\alpha$ -kiselina se dodaju na početku kuhanja, dok se hmeljevi za okus i aromu dodaju pri kraju kuhanja kako bi se što manje aroma izgubilo iskuhavanjem. [5]

### 1.3.1.3. Hlađenje sladovine

Nakon kuhanja, a prije punjenja u fermentore, sladovinu je potrebno ohladiti na temperaturu pogodnu za rast kvasaca. U praksi se koriste razni sustavi za hlađenje, a u novije vrijeme ono se odvija u zatvorenim posudama korištenjem pločastih ili cijevnih izmjenjivača topline koji najčešće koriste hladnu vodu ili glikol kao rashladno sredstvo. [4] I otvoreni i zatvoreni, cijevni ili pločasti sustavi podijeljeni su u dvije sekcije; jedna se hladi običnom hladnom vodom, dok druga sekcija se hladi rashlađenom ili rashladnim sredstvom. Ipak, zatvoreni sustav je poželjniji jer je kod njega sladovina zaštićena od oksidacije i eventualne mikrobiološke kontaminacije. [31]

U sladovini se nalaze bjelančevine koje čine fini talog i talože se snižavanjem temperature. Hlađenje se provodi kako bi se dobila bistra sladovina kao jedan od uvjeta za visokokvalitetno pivo. [24]

## 1.3.2. Tehnologija piva

### 1.3.2.1. Fermentacija

Alkoholna fermentacija je ključan korak u procesu proizvodnje piva za osiguravanje tipičnih kvalitetnih i senzorskih karakteristika piva. [16] Proces fermentacije započinje pretakanjem ohlađene sladovine u fermentor gdje se inokulira pivskim kvascem. Fermentori se ne smiju puniti do vrha jer je potrebno ostaviti dovoljno prostora za povećanje volumena, stvaranje pjene i rad kvasca. [32]

Tijekom fermentacije sladovine odvijaju se važne biokemijske reakcije koje su posljedica metabolizma stanica kvasaca te koje izazivaju kvantitativne i kvalitativne promjene sastojaka mladog i dozrelog piva, a obuhvaćaju reakcije glavnog i naknadnog vrenja. [33] U sladovini su sadržani svi sastojci potrebni za rast kvasaca koji postupkom fermentacije prevode šećere u etanol i ugljični dioksid prema jednadžbi:



Ovim procesom, kao što smo već spomenuli, nastaju i brojni drugi produkti koji doprinose punoći okusa piva, a ukoliko je njihova količina previsoka mogu negativno utjecati na okus, miris i stabilnost piva i pivske pjene. Na primjer, nepoželjna aroma može biti rezultat povećane koncentracije diacetila, aldehida i sumpornih spojeva koji nastaju postupcima ubrzane fermentacije i skraćenog dozrijevanja, dok naprotiv, poželjna aroma najčešće potječe od viših alkohola i estera. [3]

U sladovini nalazimo različite fermentabilne šećere; glukozu, fruktozu, saharozu, maltozu i maltotriozu, koje kvasci previru sljedećim redoslijedom: heksoze i saharozu na početku, maltozu tijekom glavnog vrenja, a maltotriozu tijekom naknadnog vrenja. U isto vrijeme, kvasci za svoj metabolizam koriste aminokiseline iz sladovine kao izvor dušika što dovodi do smanjenja udjela dušikovih spojeva u njoj. [20]

Od ostalih promjena koje se događaju tijekom alkoholnog vrenja i doviranja važno je snižavanje pH vrijednosti, promjena oksido-redukcijskog potencijala i boje, izdvajanje gorkih i taninskih sastojaka te otapanje CO<sub>2</sub>. Na kraju glavnog vrenja kvasci izlučuju metabolite s dušikom i masne kiseline u mlado pivo kako bi se zaokružila njegova punoća. [3]

Tijekom glavnog vrenja oslobađa se i velika količina topline koja je rezultat aktivnosti kvasca, stoga je tijekom faze fermentacije neophodno kontrolirati temperaturu. Obično se temperatura regulira u rasponu od 18 do 22 °C što odgovara optimalnom rastu i razvoju većine korištenih kvasaca. Na kraju fermentacije se provodi naglo snižavanje temperature (na +4 do +5 °C) kako bi se usporio rad kvasaca i olakšalo njihovo taloženje-tzv. *cold crush*. [34]

Za vrijeme naknadnog vrenja odvija se fermentacija šećera pri kojoj se odigravaju iste reakcije kao kod glavnog vrenja, ali znatno sporije. Na brzinu biokemijskih procesa utječe niža temperatura i manji broj stanica kvasaca obzirom da se glavnina kvasca uklanja po završetku glavnog vrenja. Cilj naknadnog vrenja je koagulacija bjelančevina, taninskih tvari i hmeljnih smola što uzrokuje smanjenje gorčine i formiranje okusa mladog piva. [24]

#### **1.3.2.2. Sekundarna fermentacija u boci**

Sekundarna fermentacija je proces koji može trajati dva do šest tjedana. Prilikom sekundarne fermentacije, između ostalog, nastaje ugljikov dioksid koji uzrokuje karbonizaciju piva. Osim toga, potiče se bistrenje i dozrijevanje što utječe na cjelokupni karakter piva i sprječava nastanak tvari koji uzrokuju neugodna organoleptička svojstva. [35] Po želji se kod sekundarne fermentacije u boce dodaje šećer kako bi se revitalizirali kvasci i kako bi udio nastalog CO<sub>2</sub> bio veći pri čemu se najčešće koristi konzumni šećer (saharoza) i groždani šećer (glukoza).

#### **1.3.2.3. Punjenje**

Pivo se puni u staklenu, limenu i PET ambalažu. Procjenjuje se da se oko 70 % piva puni u staklene boce, 20 % u limenke i oko 10 % u bačve. [31]

Prednost punjenja u bačve je da iziskuje znatno manje truda, no nakon otvaranja bačve pivo stajanjem gubi na kvaliteti te ga je teže očuvati hladnim dulje vrijeme. S druge strane, pivo u boci ostaje svježije zbog otvaranja neposredno prije konzumacije i može se lakše hladiti u hladnjaku obzirom na manju zapreminu. Prilikom punjenja postoji opasnost da se ugljikov dioksid oslobodi i da pivo počne pjeniti, što dovodi do toga da

pivo kod točenja ostaje bez pjene i postaje bljutavo. Nakon punjenja u boce, iste se zatvaraju najčešće krunskim čepovima ili se mogu koristiti boce s navojnim i preklopnim žičano-keramičkim zatvaračima. [36]

## 2. EKSPERIMENTALNI DIO

### 2.1. Grainfather sustav

#### 2.1.1. Grainfather G30

Grainfather G30 je u pravilu dio sustava za proizvodnju piva koji čini električni uređaj od nehrđajućeg čelika. Težina G30 je 10 kg, dimenzija je  $733 \times 386$  mm, te kapaciteta 30 L. U uređaju se provodi kuhanje piva u četiri koraka: ukomljavanje, ispiranje sladovine, kuhanje sladovine s hmeljom te hlađenje sladovine.

Uređaj se sastoji od tijela kotla, podnožja, poklopca od kaljenog stakla, kontrolnog kućišta i pumpe za cirkulaciju (*slika 7*). Također, sadrži unutarnju košaru koja služi za cijeđenje i ispiranje pivskog slada. Uz košaru dolaze donja i gornja perforirana ploča, međusobno spojene cijevima čija je uloga da vrše pritisak na pivski slad što ukomljavanje čini učinkovitijim. Na vrh gornje cijevi se stavi dodatak koji sprječava ulazak krutih čestica zrna prilikom ukomljavanja i korištenja pumpe za cirkulaciju sladovine. Po završetku kuhanja, na vrh uređaja se postavi rashladni uređaj (hladilo) koji se koristi za hlađenje sladovine neposredno prije pretakanja u fermentor. Proces se vodi i kontrolira korištenjem kontrolnog kućišta na vanjskom dijelu uređaja gdje se uključuje opcija grijanja, postavlja željena temperatura te uključuje pumpa za cirkulaciju sladovine. [37]



**Slika 7.** Dijelovi Grainfathera G30:

1. Tijelo kotla, 2. Podnožje, 3. Poklopac, 4. Kontrolno kućište, 5. Pumpa za cirkulaciju, 6. Unutarnja košara, 7. Perforirane ploče, 8. Cjevčice, 9. Čep i 10.

Rashladni uređaj [38]

### 2.1.2. Grainfather GF30 i glikolni rashladni uređaj GC4

Grainfather sustav uključuje još konusni fermentor Grainfather GF30 s digitalnim regulatorom temperature koji ima mogućnost praćenja, kontrole i postavljanja temperature prilikom fermentacije putem mobilnog uređaja. Dimenzije GF30 su  $910 \times 360$  mm, težina 10 kg te zapremnina 30 L, no maksimalni volumen sladovine je 28 L. Na vrh fermentora postavlja se poklopac s otvorom za vrenjaču, dok se na dnu nalazi slavina s dvostrukim ventilom koja omogućuje jednostavno ispuštanje taloga, uzorkovanje te pretakanje. [39]



*Slika 8.* Fermentor Grainfather GF30  
[40]



*Slika 9.* Vrenjača postavljena na poklopac fermentora

Budući da je kontrola temperature tijekom fermentacije ključna, fermentor je spojen na glikolni rashladni uređaj GC4 (*slika 10*). Učinkovitost hlađenja je poboljšana dodatkom izolacijskog plašta na GF30, no uz to smanjena je kondenzacija pri fermentaciji na niskim temperaturama. Rashladni uređaj može napajati četiri fermentora istovremeno.

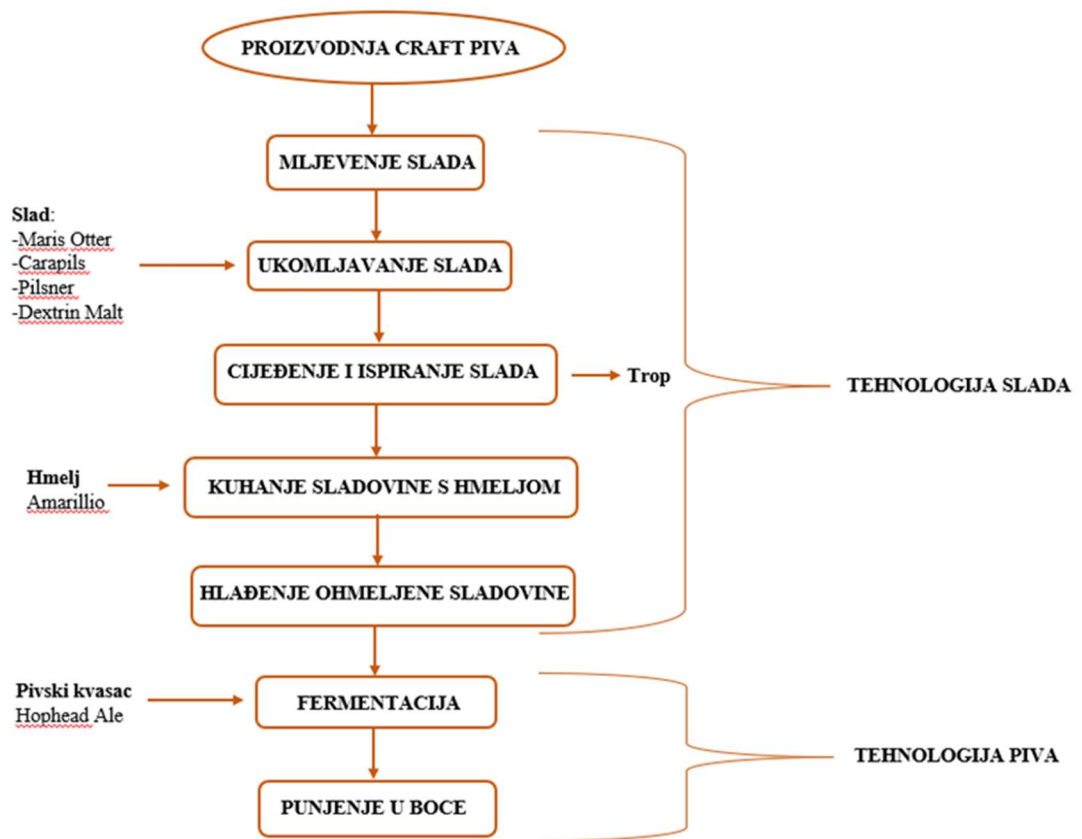


*Slika 10.* Glikolni rashladni uređaj GC4 [41]



## 2.2. Materijali

U eksperimentalnom dijelu rada proizvedeno je *craft* pivo „Brucošica“ stila American Pale Ale (APA) te se odradila fizikalno – kemijska analiza istog. Naime, recept za „Brucošicu“ kreiran je u mobilnoj aplikaciji „Grainfather Community“, a proizvodnja se odvijala pomoću Grainfather sustava. Na *slici 11* prikazana je tehnološka shema procesa.



**Slika 11.** Tehnološka shema proizvodnje *craft* piva APA („Brucošica“)

Potrebne sirovine, slad, hmelj i kvasac, naručene se od dobavljača „Sve Za Pivo“, a proizvodnja i fizikalno – kemijska analiza provedene se u laboratoriju Zavoda za prehrambenu tehnologiju na Kemijsko-tehnološkom fakultetu u Splitu.



**Slika 12.** Korištene sirovine (ječmeni slad, hmelj, kvasac)

Za fizikalno – kemijsku analizu uzeti su uzorci 1., 4., 8., 10., 11. i 12. dan fermentacije te su čuvani u zamrzivaču do analiza (*slika 13*).



**Slika 13.** Uzorci piva

### 2.3. Reagensi

- otopina HCl (3 mol/L)
- izooktan

### 2.4. Uređaji

- Ručni mlin za slad; Brewferm Grain Gorilla (Belgija)
- Kotao, fermentor i rashladni uređaj; Grainfather (Novi Zeland)
- Refraktometar; Brouwland (Belgija)
- pH metar; Hanna Instruments (USA)
- Magnetska miješalica; Tehnica Vibromix 10 (Slovenija)
- UV-Vis spektrofotometar; Specord 200 plus (Švicarska)

## 2.5. Produkcija craft piva American Pale Ale (APA)

Tehnološki proces proizvodnje piva korištenjem „Grainfather“ sustava prikazan je na slici 14, a konfigurirao se putem spomenute mobilne aplikacije.



*Slika 14.* Proces proizvodnje *craft* piva pomoću „Grainfather sustava“ [11]

### Mljevenje slada

Proizvodnja piva započinje mljevenjem slada, a korištene vrste slada prikazane su u tablici 1. Mljevenje se provodi pomoću ručnog mlina koji je podešen na širinu valjaka od 1,52 mm.

**Tablica 1.** Ječmeni slad korišten za proizvodnju piva

<b>Vrsta slada</b>	<b>Količina</b>	<b>EBC</b>
<i>Maris Otter</i>	4,5 kg	5,0
<i>Carapils</i>	0,24 kg	1,6
<i>Pilsner</i>	0,51 kg	2,31
<i>Dextrin Malt</i>	0,5 kg	1,5



**Slika 15.** Postupak mljevenja slada pomoću ručnog mlina

## Ukomljavanje

Proces ukomljavanja se vrši s 19,03 L zagrijane vode koja se ulije u Grainfather G30 u kojem je postavljena unutarnja košara s donjom perforiranom pločom. Na kontrolnoj kutiji se namjesti ciljana temperatura ukomljavanja (66 °C) te kad se ista dostigne u vodu se umiješa samljeveni slad i smjesa se prekrije gornjom perforiranom pločom. Nakon 60 min, kada je ukomljavanje gotovo, isključi se pumpa, ukloni se gornja perforirana ploča te se slad ocijedi izvlačenjem unutarnje košare uz dodatno ispiranje s 13,58 L zagrijane vode.

## Kuhanje sladovine s hmeljom

Po završetku ukomljavanja, ocijeđeni slad se ukloni, a zaostala sladovina se zagrijava do 100 °C kada joj se dodaje hmelj uz konstantno miješanje kako bi se smanjilo pjenjenje. Nakon što se hmelj u potpunosti otopi, uključi se pumpa za cirkulaciju koja omogućuje ravnomjerno kuhanje. Kuhanje sladovine s hmeljom traje 60 min, a hmelj se dodaje u obrocima kako je prikazano u *tablici 2*.

**Tablica 2.** Dinamika dodatka hmelja tijekom proizvodnog procesa

Vrsta hmelja	Količina	Upotreba	Vrijeme kuhanja
Amarillio (IBU: 34,9)	40 g	Kuhanje	50 min
Amarillio (IBU: 8,0)	20g	Kuhanje	10 min
Amarillio (IBU: 2,2)	20 g	Kuhanje	5 min
Amarillio (IBU: 0,0)	20 g	Suho hmeljenje	3 dana



*Slika 16.* Proces kuhanja sladovine s hmeljom

### **Hlađenje i prebacivanje ohmeljene sladovine u fermentor**

Nakon kuhanja sladovinu je potrebno ohladiti korištenjem spiralnog, vodenog hladila na 18 °C što predstavlja temperaturu pogodnu za rast kvasaca. Ovim postupkom se sladovina istovremeno transportira u fermentor.



*Slika 17.* Prikaz hlađenja ohmeljene sladovine uz pomoć spiralnog hladila

## Fermentacija

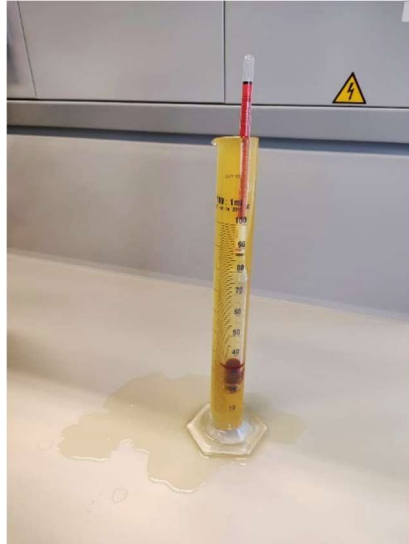
Ohlađenoj ohmeljenoj sladovini je potrebno izmjeriti gustoću (engl. *original gravity* - OG) koja bi trebala iznositi 1,055 prema recepturi što je potvrda dobro provedenih prethodnih koraka pripreme sladovine. Nakon kontrole gustoće, dodaje se pivski kvasac i slijedi proces fermentacije. Također, završetak fermentacije se određuje mjerenjem gustoće, a konačna vrijednost gustoće (engl. *final gravity* - FG) trebala bi biti 3 uzastopna dana konstantna i iznositi 1,010. Gustoća je mjerena 10., 11., i 12. dan te je iznosila 1,010, kako je i zadano, stoga je ustanovljeno da fermentacija traje 12 dana nakon čega se ista prekinula.



*Slika 18.* Prikaz Grainfather sustava za kontrolu fermentacije (hladnjak i fermentor)

Tijekom fermentacije su se pratile promjene pH vrijednosti uzoraka te količina šećera/suhe tvari u uzorcima uzorkovanim 1., 4., 8., 10., 11. i 12. dan.





**Slika 19.** Mjerenje gustoće hidrometrom



**Slika 20.** Određivanje šećera/suhe tvari refraktometrom

Poslije završene alkoholne fermentacije potrebno je provesti tzv. *cold crush* naglim snižavanjem temperature na  $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$  i zadržati istu tijekom 24 sata.

### **Punjenje u boce**

Po završetku *cold crush*-a potrebno je pivo otočiti i preliterati u boce. Prije punjenja u staklene boce zapremnine 0,33 L u fermentor je dodano 100 g groždanog šećera kako bi ga kvasci dodatno prevreli i time bolje karbonizirali pivo. Ovaj postupak sekundarne fermentacije trajao je 10 dana, a na *slici 22* prikazan je gotov proizvod – *craft* pivo „Brucošica“.



**Slika 21.** „Brucošica“

## **2.6. Metode analize sladovine i piva**

### **2.6.1. Određivanje šećera/suhe tvari u pivu**

Ukupna količina šećera/suhe tvari u uzorcima mjerena je refraktometrom baždarenim prema destiliranoj vodi na 20 °C te prema otopinama šećera točno poznate koncentracije pomoću koje je određen raspon skale za očitavanje. Količina šećera u uzorcima odredila se stavljanjem nekoliko kapi na suhu i čistu staklenu prizmu refraktometra pomoću kapaljke. Nakon poklapanja prizme kroz okular se promatra dvostruka skala, a razdjeljci na skali odgovaraju postotku Brixu i vrijednosti specifične gustoće (engl. *specific gravity*). Ljestvica za postotke Brixu je 0 -32 %, dok je ljestvica za specifičnu gustoću (SG) 1.000 - 1.130.

### **2.6.2. Određivanje pH vrijednosti piva**

Vrijednost pH se određuje korištenjem pH-metra očitavanjem ustaljene pH vrijednost na zaslonu uređaja. [22]

### 2.6.3. Određivanje gorčine piva

Gorčina piva određuje se spektrofotometrijski očitavanjem absorbancije uzoraka pri valnoj duljini 275 nm. Dobivena vrijednost absorbancije se preračunava u gorčinu prema formuli [22]:

$$\text{IBU} = 50 \times A_{275 \text{ nm}}$$

gdje je  $A_{275 \text{ nm}}$  absorbancija uzorka ili slijepe probe pri valnoj duljini od 275 nm.

Rezultat se izražava kao cijeli broj s mjernom jedinicom IBU (International Bitterness Units), dok je jedna IBU jedinica razmjerna 1 mg izo- $\alpha$ -kiseline u 1 L vode ili piva.

Priprema uzorka započinje pipetiranjem 2 mL degaziranog piva u sterilnu Falcon epruvetu od 15 mL u koju se dodaje 200  $\mu\text{L}$  HCl i 4 mL izooktana. Epruveta se zatvori i stavi na miješalicu (Vortex) tijekom 5 minuta, zatim se ostavi da odstoji u tami 30 minuta nakon čega se izmjeri absorbancija bistrog izooktanskog sloja u odnosu na čisti izooktan kao referentnu otopinu pri istoj valnoj duljini. [22, 23]

### 2.6.4. Određivanje boje piva

#### 2.6.4.1. EBC vrijednosti

Boja piva se određuje spektrofotometrijskim mjerenjem absorbancije uzorka degaziranog piva na 430 nm uz vodu kao referentnu otopinu. Vrijednost boje izražena u EBC jedinicama izračunava se prema formuli [21]:

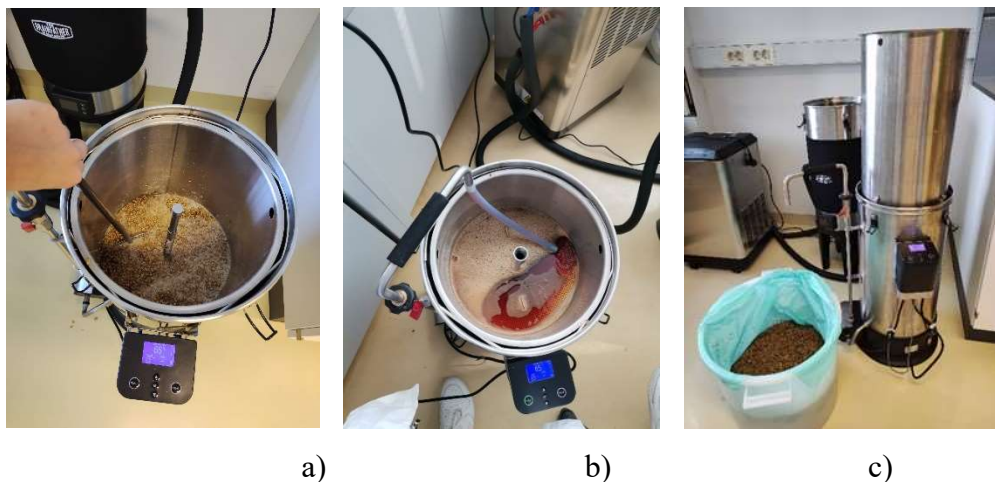
$$\text{EBC} = A_{430 \text{ nm}} \times f \times 25$$

gdje je  $A_{430 \text{ nm}}$  absorbancija uzorka ili slijepe probe pri valnoj duljini od 430 nm.

### 3. REZULTATI I RASPRAVA

U ovom diplomskom radu proizvelo se 23 L *craft* piva stila American Pale Ale korištenjem „Grainfather“ sustava. APA pivo karakterizira cvjetna, voćna i citrusna aroma te zlatna do svijetlo-smeđa boja, dok mu je gorčina srednja do visoka. [42] Cijeli tehnološki proces proizvodnje piva traje najmanje dva tjedna, a može se konfigurirati putem istoimene mobilne aplikacije koja olakšava kreiranje recepta i proizvoda traženih karakteristika, olakšava pripremu korak po korak te omogućuje kontinuirano praćenje, regulaciju temperature i upravljanje fermentacijom s udaljenosti. [43]

Kod procesa proizvodnje piva razlikujemo tehnologiju slada i tehnologiju piva. Tehnologija slada započinje mljevenjem slada nakon kojeg se provodi ukomljavanje istog dodatkom 19,03 L zagrijane vode pri temperaturi 66 °C. Na *slici 22* prikazano je ukomljavanje korištenjem pumpe za cirkulaciju. Pumpa pospješuje konverziju škroba u jednostavnije šećere pa se njenim korištenjem uspješnost procesa ukomljavanja procjenjuje na 80 %.



**Slika 22.** Proces ukomljavanja; a) miješanje slada s vrućom vodom b) korištenje pumpe za cirkulaciju c) cijedenje i ispiranje slada

Nakon ukomljavanja slijedi kuhanje sladovine uz dodatak hmelja pri 100 °C u trajanju od 60 min. Odabrana je vrsta hmelja Amarillio koja daje citrusni okus i aromu, uz posebno isticanje arome naranče. Hmelj se tijekom kuhanja dodavao u obrocima, dio dodan prilikom kuhanja utječe uglavnom na gorčinu piva i doprinosi istoj s većoj vrijednosti IBU jedinica (IBU: 34,9), dok se hmelj dodan deseti dan fermentacije koristio za suho hmeljenje primarno za aromatiziranje (IBU: 0). Ohlađena ohmeljena sladovina

temperature 18 °C je potom prebačena u fermentor gdje joj je dodan pivski kvasac. Fermentacija je trajala 12 dana tijekom kojih je praćena gustoća kako bi se utvrdio njen tijek i odredio završetak fermentacije. Također, prilikom proizvodnje piva pratila se promjena vrijednosti udjela šećera/suhe tvari refraktometrom i hidrometrom te pH što je vidljivo u *tablici 3*.

Poslije završene alkoholne fermentacije proveo se tzv. *cold crush* kako bi se naglo usporio rad kvasaca, olakšalo njihovo taloženje, pospješilo bistrenje i topljivost CO<sub>2</sub>. Gotovo pivo prelilo se u boce i dodan mu je groždani šećer za provođenje sekundarne fermentacije u trajanju od 10 dana.

**Tablica 3.** Promjena vrijednosti suhe tvari i pH prilikom proizvodnje piva

	<b>1.dan</b>	<b>4.dan</b>	<b>8.dan</b>	<b>10.dan</b>	<b>11.dan</b>	<b>12.dan</b>
<b>Udio šećera/suhe tvari</b>						
<b>Brix (%)</b>	10	5	4	2,6	2,6	2,6
<b>SG</b>	1,040	1,020	1,015	1,010	1,010	1,010
<b>pH</b>						
	5,05	4,8	4,72	4,71	4,71	4,71

Ukupni sadržaj kiselina u pivu uglavnom dolazi od kiselina iz slada i kiselina proizvedenih biokemijskom reakcijom tijekom saharifikacije. [44] Također, organske kiseline nastaju kao produkt metabolizma kvasaca tijekom fermentacije. Vrijednost pH je unutar očekivanog raspona jer pivo gornjeg vrenja može imati raspon pH od 3 do 6, a postizanje optimalnog pH je važno za aktivnost enzima hidrolaza ( $\alpha$  i  $\beta$  amilaze). [34]

U *tablici 4* prikazane su vrijednosti konačnih parametara koje bi trebalo imati proizvedeno pivo.

Početna gustoća OG (SG) izmjerena je netom prije alkoholnog vrenja, a iznosila je 1,055 kako je i traženo što ukazuje na dobro provedenu pripremu sladovine. Također, završetak fermentacije određen je mjerenjem konačne gustoće FG (SG) i tri dana zaredom vrijednost je bila 1,010, kao što je bio i očekivano.

**Tablica 4.** Prikaz konačnih parametara piva koje se proizvodilo

<b>Parametar</b>	<b>Oznaka</b>	<b>Vrijednost</b>
<b>Početna gustoća</b>	<b>OG (SG)</b>	1,055
<b>Konačna gustoća</b>	<b>FG (SG)</b>	1,010
<b>Gorčina</b>	<b>IBU</b>	45,2
<b>Boja</b>	<b>EBC</b>	8,2
<b>Alkoholna jakost</b>	<b>ABV</b>	5,82 %

Ipak, nakon provedenih analiza vidljiva su blaga odstupanja od navedenih vrijednosti, točnije vrijednosti IBU i EBC čemu razlog mogu biti, i najvjerojatnije jesu, oksidacijski procesi tijekom proizvodnje, punjenja i čuvanja piva. Među čimbenicima koji utječu na starenje piva, oksidacijske reakcije igraju ključnu ulogu u pogoršanju kvalitete, ali i osnovne sirovine za proizvodnju piva. Kisik u osnovnom stanju je relativno nereaktivan, ali se može aktivirati što dovodi do stvaranja visoko reaktivnih radikala koji reagiraju s etanolom i drugim komponentama piva kao što su spojevi ekstrahirani iz hmelja, proteini i polifenoli ili uzrokuju promjenu intenziteta gorčine piva. [45] Poznato je da koncentracija  $\alpha$ -kiselina iz hmelja opada s oksidacijom i starenjem te ju je ispravno odrediti samo u svježem pivu. [22]

Naime, kao što je spomenuto, na kvalitetu piva utječe i tvrdoća vode. Idealna tvrdoća vode za što bolje iskorištenje slada, ali i što bolji metabolizam kvasca, trebala bi biti od 3,5 do 4 °nj, dok gradska voda područja Splita iznosi od 10 do 12 °nj. Zatim, na potencijalna odstupanja može utjecati i neodgovarajuće usitnjen slad. [23] Boja ispitivanog piva je također bila viša od očekivane, a razlog tome najvjerojatnije leži u provođenju samog tehnološkog procesa kao posljedica različitih enzimskih i neenzimskih oksidacija polifenola i/ili nastajanja melanoidnih spojeva ili pak sekundarne fermentacije u boci. [46]

#### 4. ZAKLJUČAK

Cilj ovog diplomskog rada je bio osmisliti recepturu i proizvesti *craft* pivo stila APA korištenjem „Grainfather“ sustava te provesti osnovne fizikalno – kemijske analize istog što je i uspješno urađeno. Dobiveno pivo („Brucošica“) odlikuju vrlo dobra organoleptička svojstva, dok je analiza istog pokazala blaga odstupanja od očekivanih vrijednosti ispitivanih parametara (prvenstveno IBU i EBC vrijednosti) čemu su najvjerojatniji razlog oksidacijski procesi tijekom procesa proizvodnje, punjenja i/ili čuvanja piva o čemu posebno treba voditi računa ubuduće.

## 5. LITERATURA

1. Meussdoerffer FG. A Comprehensive History of Beer Brewing, *Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets*, 2009., Chapter 1, 1–42.
2. Car A. Promjena sastojaka okusa i arome piva donjeg vrenja tijekom čuvanja u različitoj ambalaži, diplomski rad, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2018.
3. Grba S, Stehlik-Tomas V, Stanzer D, Mrvčić J, Marić V, Orlić S, Jeromel A, Zgaga Z, Svetec IK, Krpan M. Kvasci u biotehnološkoj proizvodnji, Zagreb: *Plejada*, 2010. 69-122.
4. Bais V. Projektiranje craft pivovare, završni rad, Stručni studij prehrambene tehnologije, Veleučilište u Karlovcu, 2017.
5. Petrić M. Hlapljivi spojevi piva, diplomski rad, Kemijsko-tehnološki fakultet, Sveučilište u Splitu, 2020.
6. <https://byo.com/article/understanding-base-malt/> (pristupljeno 2.5.2022.)
7. <https://www.malteurop.com/en/node/178> (pristupljeno 2.5.2022.)
8. Da Costa Jardim C, De Souza D, Kasper Machado IC, Massochin Nunes Pinto L, De Souza Ramos RC, Garavaglia J. Sensory Profile, Consumer preference and chemical composition of craft beers from Brazil, *Beverages*, 2018; 4(4), 106.
9. Lončarić A, Kovač T, Nujić M, Habuda-Stanić M. Priprema tehnološke vode za industrijsku proizvodnju piva, stručni rad, *7. međunarodni znanstveno-stručni skup Voda za sve*, 2018; 177 – 187.
10. Schönberger C, Kostelecky T. The Role of Hops in Brewing, *J. Inst. Brew.*, 2011;117(3), 259–267.
11. Sinovčić D. Kemijska analiza hlapljivih spojeva craft piva "Mrka", završni rad, Kemijsko-tehnološki fakultet, Sveučilište u Splitu, 2020.
12. De Keukeleire D. Fundamentals of Beer and Hop Chemistry, *Química Nova*, 2000; 23(1) 108-112.
13. Guido LF. Brewing and Craft Beer, *Beverages*, 2019; 5, 51.
14. <https://beerandbrewing.com/understanding-bitterness/> (pristupljeno 2.5.2022.)
15. Stegnjaić U. Usporedba pokazatelja kvalitete piva gornjeg i donjeg vrenja, diplomski rad, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2017.
16. Cardoso Viana A, Colombo Pimentel T, Borges do Vale R, Santos Clementino L, Thayná Januario Ferreira E, Magnani M, Dos Santos Lima M. American pale Ale



- craft beer: Influence of brewer's yeast strains on the chemical composition and antioxidant capacity, *LWT*, 2021; 152, 112317.
17. <https://brewchatter.com/blogs/brewchatter-homebrewing-blog/dry-yeast-vs-liquid-yeast-the-case-for-dry-yeast> (pristupljeno 2.5.2022.)
  18. <https://www.beersyndicate.com/app/Tutorial/Details/32> (pristupljeno 2.5.2022.)
  19. <https://pivnica.net/tipovi-i-vrste-piva/107/> (pristupljeno 2.5.2022.)
  20. Kenechukwu A. Review: Beer Production, *SSRN Electronic Journal*, 2019.
  21. Koren D, Hegyesne Vecseri B, Kun-Farkas G, Urbin A, Nyitrai A, Sipos L. How to objectively determine the color of beer?, *J. Food Sci. Technol.*, 2020.
  22. Gukov A. Mikrobiološki i fizikalno-kemijski profil hrvatskih piva, diplomski rad, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2021.
  23. Kunze W. Technology Brewing and Malting, Berlin: VLB, 1996. Chapter 11, 833-874.
  24. Malcev PM. Tehnologija slada i piva, Beograd: *Poslovno udruženje industrije piva*, 1964.
  25. Pereira de Moura F, Rocha dos Santos Mathias T. A Comparative study of dry and wet milling of barley malt and its influence on granulometry and wort composition, *Beverages*, 2018; 4, 51.
  26. Rani H, Bhardwaj RD. Quality attributes for barley malt: "The backbone of beer", *J. Food Sci.*, 2021; 86, 3322–3340.
  27. Yu W, Zhai HL, Xia GB, Tao KY, Li C, Yang XQ, Li LH. Starch fine molecular structures as a significant controller of the malting, mashing, and fermentation performance during beer production, *Trends in food science & technology*, 2020; 105, 296-307.
  28. Mc Cabe JT. The Practical Brewer, *Master Brewers association of the Americas*: 1977. 13-117.
  29. Pahl R, Meyer B, Biurrun R. Brewing Materials and Processes, *Elsevier Inc.*, 2016; Chapter 6, 113-121.
  30. Jackson M. The new world guide to beer, A Quarto book, Philadelphia: *Running press book publishers*, 2000.
  31. <https://www.tehnologijahrane.com/enciklopedija/tehnologija-proizvodnje-piva> (pristupljeno 3.5.2022.)
  32. Glover B. Svjetska enciklopedija piva, Zagreb: *Katarina Zrinska*, 1999.

33. Parker DK. Beer: Production, sensory characteristics and sensory analysis, *Alcoholic Beverages*, 2012.
34. Govedarica D. Praćenje pokazatelja kvalitete različitih tipova piva gornjeg vrenja tijekom proizvodnje i skladištenja, diplomski rad, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2019.
35. <https://mensgearandbeer.com/> (pristupljeno 3.5.2022.)
36. Vogel W. Pivo iz vlastitog podruma, *ITD Gaudeamus*: 2006. 79-85.
37. <https://help.grainfather.com/hc/en-us/articles/360014300697-Instructions-GF30> (pristupljeno 4.5.2022.)
38. <https://help.grainfather.com/hc/en-us/articles/360017163238-Quick-Start-Guide-G30> (pristupljeno 4.5.2022.)
39. <https://shop.grainfather.com/eu/gf30-conical-fermenter.html> (pristupljeno 4.5.2022.)
40. <https://braumarkt.com/Grainfather-GF30-Fermenter-coat> (pristupljeno 4.5.2022.)
41. <https://grainfather.com/g-series/gc4/> (pristupljeno 6.5.2022.)
42. <https://www.craftbeer.com/styles/american-pale-ale> (pristupljeno 6.5.2022.)
43. <https://grainfather.com/> (pristupljeno 6.5.2022.)
44. Yao J, Ma Z, Wang Y, Wang Y, Sun L, Liu X. Effects of dandelion addition on antioxidant property, sensory characteristics and inhibitory activity against xanthine oxidase of beer, *Current Research in Food Science*, 2022; 5, 927-939.
45. Hrabiaa O, Ditrych M, Ciosek A, Fulara K, Larsen Andersen M, Poreda A. Effect of dry hopping on the oxidative stability of beer, *Food Chemistry*, 2022; 394, 133480.
46. De Lange AJ. The standard reference method of beer color specification as the basis for a new method of beer color reporting. *J.Am.Soc. Brew. Chem*, 2008;66(3), 143-150