

UTJECAJ PROCESNIH PARAMETARA I SIROVINE NA OPTIMIZACIJU PROCESA FILTRABILNOSTI PIVA

Jurinić, Tomislav

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:554872>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-29**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STRUČNI STUDIJ PREHRAMBENE TEHNOLOGIJE
PIVARSTVO

TOMISLAV JURINIĆ

**UTJECAJ PROCESNIH PARAMETARA I SIROVINE NA
OPTIMIZACIJU PROCESA FILTRABILNOSTI PIVA**

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, 2021.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STRUČNI STUDIJ PREHRAMBENE TEHNOLOGIJE
PIVARSTVO

Tomislav Jurinić

**UTJECAJ PROCESNIH PARAMETARA I SIROVINE NA
OPTIMIZACIJU PROCESA FILTRABILNOSTI PIVA**

Završni rad

Mentor: dr. sc. Goran Šarić

Matični broj: 0314615019

Karlovac, listopad 2021.

IZJAVA O AUTENTIČNOSTI ZAVRŠNOG RADA

Ja, Tomislav Jurinić, ovime izjavljujem da je moj završni rad pod naslovom „ Utjecaj procesnih parametara i sirovine na optimizaciju procesa filtrabilnosti piva“, rezultat vlastitog rada i istraživanja, te se oslanja se na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio ovoga rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši autorska prava.

Sadržaj ovoga rada u potpunosti odgovara sadržaju obranjenoga i nakon obrane uređenoga rada.

Karlovac, 12. listopad 2021.

Ime i prezime studenta

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Veleučilište u Karlovcu
Odjel prehrambene tehnologije
Stručni studij prehrambena tehnologija
Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

Završni rad

UTJECAJ PROCESNIH PARAMETARA I SIROVINE NA OPTIMIZACIJU PROCESA FILTRABILNOSTI PIVA

Tomislav Jurinić

Mentor: Dr.sc. *Goran Šarić*, viši predavač

Sažetak:

Na kraju procesa dozrijevanja u pivo više nema, odnosno ne bi smjelo biti kisika, ali sadrži veliku količinu stanica kvasca i drugih čestica koje uzrokuju mutnoću. Stanice kvasca i ostale čestice moraju biti uklonjene iz piva, uz pridržavanje mjera koje sprječavaju otapanje štetnog kisika. Svrha procesa filtracije piva je stabilizirati proizvod, bez vidljivih promjena u određenom vremenskom periodu. Postoji puno faktora koji utječu na filtrabilnost piva od kojih su najvažniji kvaliteta sirovine (udio finog i grubog ekstrakta, viskoznost kongresne sladovine, Kolbachov indeks), tehnologija u varionici (optimalna razgradnja alfa i beta glukana, kratka proteinska pauza), kvaliteta sladovine (viskoznost, mutnoća, količina alfa i beta glukana, pH vrijednost, dušik itd.), uvjeti tijekom fermentacije i dozrijevanja. Postoji nekoliko različitih postupaka filtracije kao npr. površinska filtracija, dubinska filtracija i membranska filtracija (sterilna), prilikom čega pivo prolazi kroz filtersko sredstvo i čisti se od stanica kvasca i ostalih čestica. U eksperimentalnom dijelu uspoređivana su svojstva i filtrabilnost dva različita piva proizvedena od različitih sirovina. Bile su korištene dvije vrste sirovina, sirovina A i sirovina B. Sirovina A se odnosi na bolje modificiran (kvalitetniji) slad, dok se sirovina B odnosi na slabije modificiran slad (manje kvalitetan). Pivo koje se kuhalo je Karlovačko pivo, jačine 17°P, te se za kuhanje tog piva koristila High gravity metoda. Fermentacija piva se odvijala na 14°C sa dvije različite generacije kvasca, sve do pada udjela ekstrakta na 3,5 do 4°P (kad je razlika između dva mjerenja manja od 0,5°P). Odležavanje piva se provodilo na 0°C te se filtriralo i stabiliziralo kroz Kieselghur filter.

Broj stranica: 35

Broj slika: 10

Broj tablica: 12

Broj literaturnih navoda: 29

Broj priloga: 22

Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: fermentacija, filtracija, pivo, slad, varionica

Datum obrane:

Stručno povjerenstvo za obranu:

1. dr. sc. *Sandra Zavadlav*, prof. v. š.
2. dr. sc. *Jasna Halambek*, v. pred.
3. dr. sc. *Goran Šarić* v. pred..
4. dr. sc. *Bojan Matijević*, prof. v. š. (zamjena)

Rad je pohranjen u knjižnici Veleučilišta u Karlovcu, I. Meštrovića 10, 4700 Karlovac, Hrvatska.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Karlovac University of Applied Sciences
Department of Food Technology
Professional Study of Food Technology
Scientific Area: Biotechnical Sciences
Scientific Field: Food Technology

Final paper

INFLUENCE OF PROCESSING PARAMETERS AND RAW MATERIAL ON THE OPTIMIZATION OF BEER FILTRABILITY PROCES

Tomislav Jurinić

Supervisor: Ph.D. *Goran Šarić*, sen. lecturer

Abstract

At the end of the maturation process, there should be no oxygen, but it contains a large amount of yeast cells and other particles that sample turbidity. These yeast cells and other particles must be removed from the beer, while adhering to measures that prevent the dissolution of harmful oxygen. The purpose of the beer filtration process is to make the beer a stable product, without visible changes in a certain period of time. There are many factors that affect the filterability of beer, the most important of which are the quality of raw materials (proportion of fine and coarse extract, viscosity of congress wort, Kolbach index), technology in brewery (optimal degradation of alpha and beta glucans, short protein break), wort quality (viscosity), turbidity, amount of alpha and beta glucans, pH value, nitrogen, etc.), conditions during fermentation and maturation. There are several different filtration processes such as surface filtration, depth filtration and membrane filtration (sterile), whereby the beer passes through a filter medium and is cleaned of yeast cells and other particles. In the experimental part, we compared the properties and filterability of two fermenters produced from different raw materials. Two types of raw materials were used in the brewery, raw material A and raw material B. Raw material A was better modified (higher quality) malt, and raw material B was less modified malt (lower quality). The beer that was brewed was Karlovačko beer, with a strength of 17 ° P, and the High gravity method was used to brew that beer. Beer fermentation took place at 14 ° C with two different generations of yeast, until the extract dropped to 3.5 to 4 ° P (when the difference between the two measurements is less than 0.5 ° P). The beer was aged at 0 ° C and was filtered and stabilized through a Kieselghur filter.

Number of pages: 35

Number of figures: 10

Number of tables: 12

Number of references: 29

Original in: Croatian

Key words: beer, brewhouse, fermentation, filtration, malt

Date of the final paper defense:

Reviewers:

1. Ph.D. *Sandra Zavadlav* collage prof.
2. Ph.D. *Jasna Halambek*, sen. lecturer
3. Ph.D. *Goran Šarić* sen. lecturer
4. Ph.D. *Bojan Matijević* collage prof. (substitute)

Final paper deposited in: Library of Karlovac University of Applied Sciences, I. Meštrovića 10, Karlovac, Croatia.

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
2.	TEORIJSKI DIO	4
2.1.	Sirovine.....	6
2.1.1.	Ječmeni slad.....	6
2.1.2.	Hmelj.....	8
2.1.3.	Kvasac.....	9
2.1.4.	Voda.....	10
2.2.	FILTRACIJA PIVA	15
2.2.1.	Faktori koji utječu na filtrabilnost piva.....	16
2.2.2.	Razne filtracijske metode.....	17
2.2.3.	Vrste filtera i pomoćna filtracijska sredstva.....	18
2.2.4.	Pomoćna filtracijska sredstva.....	20
2.2.5.	Kisik tijekom filtracije.....	21
2.3.	STABILIZACIJA I PASTERIZACIJA	22
2.3.1.	Koloidna i biološka stabilizacija piva.....	23
3.	EKSPERIMENTALNI DIO	25
3.1.	Materijali.....	25
3.2.	Metode.....	26
3.3.	Proizvodnja piva i utjecaj sirovine i procesnih parametara.....	26
4.	REZULTATI	27
4.1.	Rezultati provedenih testiranja u pogonu varionice.....	27
4.2.	Rezultati provedenih testiranja u pogonu fermentacije.....	28
5.	RASPRAVA	31
6.	ZAKLJUČAK	32
7.	LITERATURA	33
8.	PRILOZI	35
8.1.	Popis slika.....	35
8.2.	Popis tablica.....	35

1. UVOD

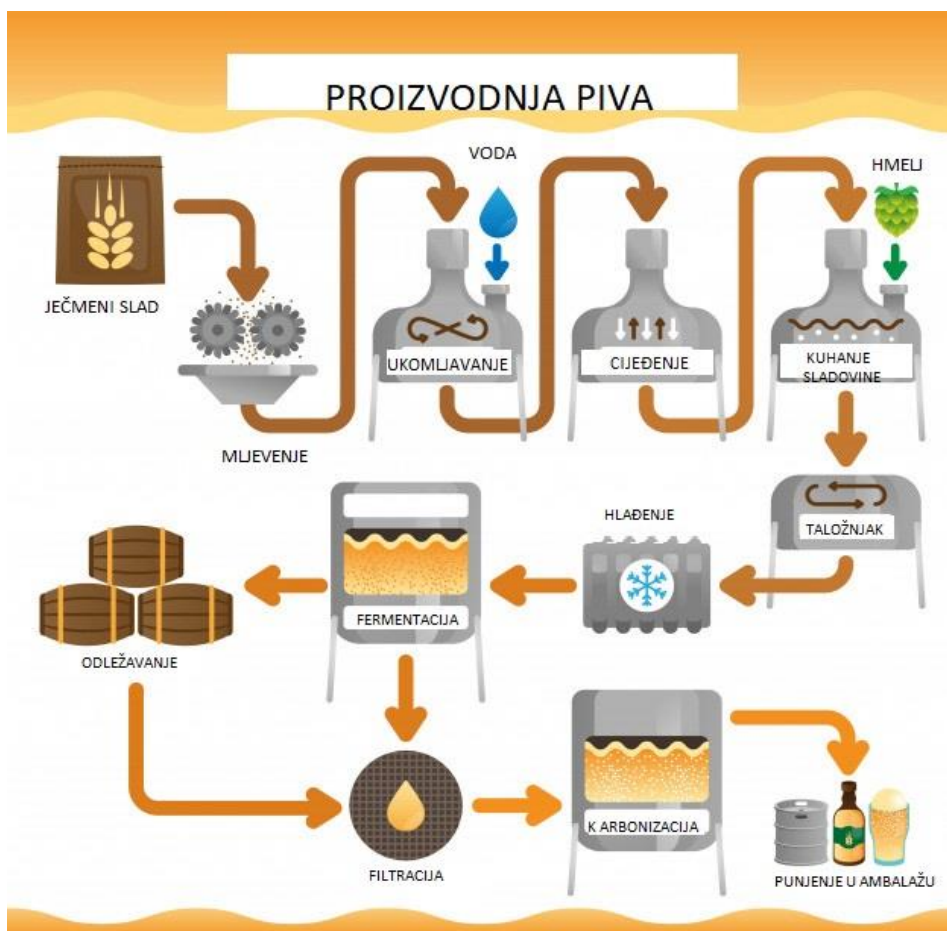
Filtracija piva je vrlo važan korak u postizanju koloidne i mikrobiološke stabilnosti u pivu. Pivo mora biti stabilno, bez ikakvih vidljivih promjena do kraja svoga roka trajanja. Uzroci kvarenja piva mogu biti mikroorganizmi koji mogu uzrokovati zamućenje piva, promjenu boje i mirisa, čestice koloida (proteini i polifenoli) koji izazivaju zamućenje tj. koloidnu nestabilnost, djelovanje kisika i svjetlosti koje izaziva kemijske promjene koje dovode do nestabilnosti arome piva, povišena temperatura, ioni teški metala npr. Cu i Fe (bakar i željezo). Filtrabilnost piva jako ovisi o sirovini koja se koristi za proizvodnju piva i o samom vođenju procesa proizvodnje, te procesnim parametrima. Na optimizaciju procesa filtracije utječe više faktora, ali oni najvažniji su kvaliteta slada, tehnologija u varionici, kvaliteta sladovine te uvjeti tijekom fermentacije i dozrijevanja. (Kunze, 2010) Kvaliteta slada se može procijeniti kroz nekoliko važnih faktora koji utječu na filtrabilnost sladovine i na konačnu filtrabilnost piva. Kakvoću slada karakterizira njegov vanjski izgled, miris i okus. Procjena kvalitete slada provodi se kroz nekoliko različitih metoda i analiza. Vizualnom procjenom kvalitete slada promatramo jesu li zrna slada jednake boje i veličine, te jesu li dobro očišćena od prašine, kamenčića te drugih zrna. Također važan dio procjene kvalitete slada su fizikalno kemijske analize. Udio vode za svijetli slad bi trebao iznositi od 3 do 5 % (u osušenom 0,5 do 4 %), a za tamni slad od 1 do 4,5 % (za osušeni slad 0,5 do 4 %). Najvažnije svojstvo slada je njegovo ponašanje tijekom procesa ukomljavanja, a to nam najbolje pokazuje metoda kongresnog ukomljavanja. Metoda kongresnog ukomljavanja provodi se u laboratoriju sa ciljem dobivanja prinosa iz slada. Na procjenu kvalitete slada također još utječu i viskoznost, udio proteina i beta glukana, friabilnost, boja, DMS-P, udio vode itd. Mljevenje slada tj. razlika ekstrakta fino i grubo mljevenog slada ima za cilj da se endosperm dobro usitni, a da pljevica ostane sačuvana. Jako je bitno da enzimi prisutni u zrnu slada mogu doprijeti do škroba kako bi ga razgradili na fermentabilne šećere. Način usitnjavanja slada ovisi o kvaliteti i stupnju razgrađenosti slada. Slad koji je jače razgrađen se lakše usitnjava i daje više finog ekstrakta, dok se slabo razgrađen slad teže usitnjava i ima veći udio grubog ekstrakta te daje manji prinos u proizvodnji. Stupanj usitnjavanja slada ima direktan utjecaj na filtrabilnost piva koja ovisi o viskoznosti sladovine i udjelu α – glukana. Viskoznost kongresne sladovine je parametar koji služi za procjenu kako će se sladovina ponašati tijekom cijedenja/filtracije sladovine i filtracije piva te je u bliskom odnosu sa udjelom β -glukana. Viskoznost kongresne sladovine mora iznositi od 1.5 do 1.6 mPa da bi sladovina zadovoljila potrebne zahtjeve. (Kunze, 2010) Razgradnja β – glukana ovisi o kvaliteti slada, što znači da ukoliko imamo

slabije razgrađen slad, tijekom procesa ukomljavanja β -glukan se mora se razgraditi na manje lance kako ne bi doveo do povećanja viskoznosti sladovine te problema tijekom odvajanja sladovine od tropa cijedenjem ili filtracijom. Tijekom proizvodnje slada jedan od najvažnijih zadataka sladara je razgradnja staničnih stijenki (citoliza) koje su, između ostalog, građene od β -glukana. Zbog smicajnih sila tijekom ukomljavanja visokomolekularni β – glukani se međusobno povezuju i uzrokuju povećanje viskoznosti koja ima negativan utjecaj na proces filtracije. Zbog navedenog razloga jako je bitno da se zaostali β – glukan u sladu razgradi prije hidrolize škroba. β – glukan se razgrađuje tijekom procesa ukomljavanja uz pomoć enzima na optimalnim temperaturama za njihovo djelovanje. Enzimi koji su zaslužni za razgradnju su: endo β – 1,4 glukanaza (40 – 48 °C), endo β – 1,3 glukanaza (60 °C) i β – glukan solubilaza (60 °C).

Bitan utjecaj na cijeli proces proizvodnje piva pa tako i na filtraciju piva ima pH vrijednost. pH vrijednost komine u rasponu od 5,5 do 5,6 postiže ove učinke: granični stupanj prevrenja sladovine je viši, razgradnja proteina je bolja, smanjuje se viskoznost komine odnosno sladovine, ubrzava se cijedenje sladovine iz komine. Iz prije navedenih razloga može se zaključiti da se mnogi procesi i promjene brže odvijaju pri nižem pH, zbog čega je važno sniziti pH vrijednost komine na 5,2, a što se može postići dodatkom mineralnih kiselina ili biološkim zakiseljavanjem. Pri pH vrijednosti od 5,2 enzimska aktivnost je veća, bolji je prinos ekstrakta, poboljšava se izlučivanje proteina, brža je filtracija/cijedenje komine, fermentacija je brža, viskoznost je manja što olakšava filtraciju. Svi ti navedeni faktori imaju utjecaj na uspješnost procesa filtracije, a posljedično i na ukupnu kvalitetu proizvedenog piva. (Kunze, 2010)

2. TEORIJSKI DIO

Pivo je osvježavajuće piće, poznato po karakterističnoj aromi po hmelju, dobiveno vrenjem pивske sladovine uz pomoć pivskog kvasca. Poznavanjem svojstava sirovina koje koristimo i njihovog utjecaja na proces i konačan proizvod, moguće je kontrolirati proizvodni proces. Jako je bitno da se tijekom procesa proizvodnje u varionici i u pogonu fermentacije uklone neželjeni nusprodukti odležavanjem piva i da se dobije ispravan proizvod dobrih tehnoloških svojstava za daljnju obradu. Proizvodnja piva je jako vezana za tri važna biokemijska procesa: stvaranje enzima u proklijalome zrnju ječma, razgradnja škroba na fermentabilne šećere uz pomoć enzima iz slada i razgradnja tih šećera na alkohol i CO₂ alkoholnom fermentacijom uz pomoć kvasca.



Slika.1 shematski prikaz procesa proizvodnje piva (Anonymus, 2019)

Do stvaranja enzima u proklimalome zrnu dolazi nekoliko sati nakon unosa vode u zrno ječma. Dolazi do poticanja rasta uz pomoć određenih spojeva kao npr. giberelinske kiseline koja dolazi do aleuronskog sloja gdje potiče stvaranje enzima kao što su alfa amilaza i granična dekstrinaza. Također potiče aktivaciju beta amilaze koja je već prisutna u velikim količinama u endospermu. (Briggs, 2008) Proizvodnja piva započinje u pogonu varionice. Proces započinje transportom slada iz silosa u mlin, gdje se usitnjava do željene veličine. U varionici se sladna prekrupa miješa sa vodom u kotlu za ukomljavanje. Tako dobivena smjesa slada i vode naziva se komina. Komina se zatim zagrijava na optimalne temperature za djelovanje pojedinih enzima u sladu (α – amilaza, β – amilaza, proteinaza). Sa postizanjem optimalnih temperatura za pojedine enzime njihova aktivnost je najveća, ali su također aktivni i pri nižim i višim temperaturama od optimalne samo pri smanjenoj aktivnosti. Enzimska aktivnost omogućuje se da enzimi iz slada prerade škrob u fermentabilne šećere. Sa završetkom ukomljavanja, tj. kada je sav škrob prerađen u jednostavne šećere, komina se filtrira, i tako se odvaja trop od sladovine. Trop se odvaja uz pomoć filtera komine ili cijednjaka. Dobivena sladovina se zatim prebacuje u kotao sladovine gdje se kuha do temperature vrenja. Tijekom kuhanja sladovine, u kotao se dodaje hmelj koji služi za dobivanje arome odnosno gorčine piva. Na kraju procesa kuhanja, sladovina se prebacuje u taložnik (Whirlpool) gdje se odvaja topli talog u obliku stožca. Sladovina se iz taložnika prebacuje cjevovodom do pogona fermentacije gdje se nastavlja proces proizvodnje piva. U pogonu fermentacije sladovina se prevodi preko izmjenjivača topline tj. hladnjaka sladovine, gdje se uz pomoć ledene vode hladi na željenu temperaturu koja je optimalna za naciepljivanje soja kvasca. Tako ohlađena sladovine se aerira te joj se dodaje kultura čistog kvasca. Dodatkom kvasca, sladovina počinje fermentirati u CKT-u (cilindrično-konusni tank) i dobiva naziv mlado pivo. Tijekom fermentacije, u mladom pivu nastaju spojevi zaslužni za aromu i miris piva. Također je važno pravilnim vođenjem procesa fermentacije i odležavanja odstraniti neželjene spojeve odnosno nusprodukte fermentacije kao što su esteri, diacetil, viši alkoholi ketoni i fenoli.

Po završetku fermentacije iz konusnog dijela tanka se izdvaja kvasac. Omjer količine kvasca koji je doziran u sladovinu i onog koji se izdvaja nakon fermentacije je 1:6. Izdvojeni kvasac se skladišti u posebnim spremnicima te se dalje koristi ili se zbrinjava. Završetkom fermentacije mlado pivo se prebacuje na odležavanje uz prethodno odvajanje ostatka kvasca uz pomoć centrifugalnog separatora. Separator djelovanjem centrifugalne sile odvaja ostatak kvasca iz piva te se pivo prebacuje u ležne tankove ili fermentore na odležavanje. Odležano

pivo prije finalizacije procesa proizvodnje u pogonu filtracije, mora imati određene parametre kvalitete kao npr: okus piva mora biti svjež i čist, pivo mora imati normalan miris i gorčinu, mora biti mikrobiološki stabilno, udjel neprevrelog ekstrakta mora biti od 1.65 do 2.05 °P, udjel alkohola mora biti od 5.10 do 5.30 % (vol/vol), boja od 6.50 do 8.50 EBC jedinica , kemijski stabilno, pH mora biti od 4.05 do 4.30, udio kisika maksimalno 0.5 g/L.

Filtracija je vjerojatno najefikasnija metoda uklanjanja čvrstih čestica i stanica kvasca iz odležanog piva. Pivo prolazi kroz filtracijsko sredstvo na kojem se formira filtracijski kolač od čvrstih čestica. Brzina filtracije ovisi o površini filtracijskog sredstva i o otporu prolaza filtrata kroz filtarski kolač. Filtrirano i koloidno stabilizirano pivo se zatim prebacuje u punionu gdje se puni u ambalažu i biološki se stabilizira (pasterizacija). Dobiven finalni proizvod se skladišti na prikladnom mjestu u prikladnim uvjetima.

2.1. Sirovine

Četiri sirovine su potrebne za proizvodnju piva: ječam, hmelj, voda i kvasac. Kvaliteta svake od sirovine ima značajan utjecaj na kvalitetu finalnog proizvoda. Znanje o svojstvima sirovina i njihovom utjecaju na proces su osnova za upravljanje procesom.

2.1.1. Ječmeni slad

Ječmeni slad je glavna sirovina za proizvodnju piva. Za proizvodnju pivarskog slada se uglavnom koriste ozime sorte, koje se siju sredinom rujna i jare sorte koje se siju u ožujku ili travnju. Pivarski ječam se klasificira kao dvoredni ili višeredni ječam. Ječmeni slad sadrži visok udio škroba, koji se nalazi unutar zrna slada koje je obavijeno zaštitnom opnom koja se naziva pljevica. Pljevica je jako važna u daljnjem procesu za stvaranje filtracijskog sloja prilikom odvajanja sladovine od tropa jer služi kao filtracijsko sredstvo. Najrazvijenija regija za uzgoj ječma je srednja Europa, gdje se ječam sustavno uzgaja već 150 godina. U svijetu je 2013. godine proizvedeno 22 miliona tona ječmenog slada. (Staff, 2014) Malteurop Group je vodeći svjetski proizvođač slada, koji ima godišnji kapacitet proizvodnje od više od 2,2 milijuna tona. Četiri su vodeće sorte ječma: Scarlet, Barke, Pasadena i Annabel koji se također uzgajaju i u susjednim zemljama. Glavne regije za proizvodnju ječma su umjereno klimatske regije sjeverne hemisfere, sa fokusom na Europu, SAD i Kanadu. Ječmeni slad se

koristi kao glavna sirovina za proizvodnju piva. Cijeli proces započinje u pogonu varionice gdje se kuha slad u vodi, a taj proces se naziva ukomljavanje. Glavni cilj procesa ukomljavanja je prevesti neotopive i djelomično topive tvari u topive. Fermentativni ugljikohidrati se dobivaju razgradnjom polisaharida škroba. Različiti enzimi kataliziraju različite reakcije razgradnje, ovisno o temperaturi tijekom ukomljavanja, pH vrijednosti i načinu ukomljavanja. Enzimska aktivnost, pretežito aktivnost β -amilaze ovisi o procesu ukomljavanja. Kod ukomljavanja gušćih komina, enzimska aktivnost je dugotrajnija nego kod rijedih komina. Proteini su velike dugolančane molekule sastavljene od aminokiselina povezanih peptidnom vezom. U zrnu slada proteini su , između ostalog, uskladišteni u staničnoj stijenci endosperma. U gotovom pivu nalazi se samo jedna trećina proteina iz endosperma. Proteini mogu imati veliki utjecaj na kvalitetu piva i smatra se da pridonose dugotrajnosti piva ali također mogu uzrokovati zamućenje. Enzimi su ključni organski biokatalizatori koji razgrađuju komponente u sladu i čine ih prilagodljivima za takve postupke kao što su cijedenje i filtracija komine i metabolizam kvasca tijekom fermentacije. Bez enzima koji rade svoj katalitički posao, ne bi bilo moguće razgraditi škrob na jednostavne šećere, a kvasac ne bi imao što fermentirati. Enzimi cijepaju velike molekule škroba na jednostavne šećere (glukozu, maltozu i maltotriozu) koji mogu fermentirati, reduciraju velike molekule bjelančevina u manje, uključujući aminokiseline, koje su ključne za zdrav rast i razvoj kvasca. (Bamforth, 2016)

U proizvodnji piva najvažniji enzimi su amilaze, proteinaze i β -glukanaze. Aktivnost enzima ovisi o nekoliko izuzetno bitnih faktora. Enzimska aktivnost iznad svega ovisi o utjecaju temperature. Povišenjem temperature aktivnost enzima raste i svaki od enzima pri optimalnoj temperaturi postiže maksimum svoje vrijednosti. Pri jako visokoj temperaturi, koja nije optimalna za aktivnost pojedinog enzima, aktivnost opada i dolazi do raspadanja njihove trodimenzionalne strukture tj. denaturacije. Aktivnost enzima se također odvija pri nižim temperaturama uz njihovu smanjenu aktivnost. Enzimska aktivacija također ovisi i o pH vrijednosti. Svaki enzim se najbolje aktivira pri optimalnom pH, ali povišenjem ili smanjenjem pH vrijednosti njegova aktivnost pada. (Kunze, 2010) Enzimska aktivnost, a posebno aktivnost β -amilaze ovisi o procesu ukomljavanja. Kod ukomljavanja gušće komine, enzimska aktivnost biti će puno duža nego kod ukomljavanja rijedih komina. Najvažniji korak kod ukomljavanja je razgradnja škroba do maltoze. Škrob se mora razgraditi na jednostavne šećere kako bi kvasac tijekom fermentacije uspio fermentirati šećere u alkohol. Razgradnja škroba odvija se u tri faze od kojih je svaka jednako važna, a to su: želatinizacija, likvefakcija

i šećerenje. Želatinizacija škroba odvija se u vrućoj vodenoj otopini gdje škrobne molekule vežu vodu, te škrobna zrnca bubre i pucaju. Škrobna zrnca gube svoju kristaliničnu strukturu i škrob prelazi u škrobni ljepak. U sladnom zrnu, stanične stijenke stanica u kojima se nalazi škrob su dobro razgrađene te je zato proces želatinizacije puno brži nego kod neslađenih žitarica, kod kojih je potrebna temperatura viša od 100°C, ovisno o vrsti žitarice. Potpuna želatinizacija škroba je preduvjet za njegovu potpunu razgradnju koja se odvija pri temperaturama od 59°C - 65°C. Likvefakcija je smanjenje viskoznosti želatinizirane otopine škroba, tj. komine uz pomoć α -amilaze pri optimalnoj temperaturi od 72⁰ C do 75⁰ C, pH 5,6 – 5,8. Tijekom likvefakcije dugački lanci glukoznih jedinica iz škroba se cijepaju na manje lance uz djelovanje α -amilaze koja razgrađuje amilozu i amilopektin do dekstrina, prilikom čega se smanjuje viskoznost komine. Šećerenje se provodi zagrijavanjem komine na optimalnu temperaturu za djelovanje β -amilaze (opt. temp. 60-65⁰ C, pH 5,4-5,5) te započinje razgradnja dekstrina s nereducirajućeg kraja molekule uz odcjepljivanje po dvije glukozne jedinice tj. maltoze. (Kunze, 2010) Zbog neparanog broja glukoznih jedinica u dekstrinskim lancima, uz maltozu nastaju i drugi šećeri kao npr. glukoza i maltotrioza.

2.1.2. Hmelj

Hmelj (*Humulus Lupulus. L.*) je višegodišnja biljka penjačica iz porodice konoplje (*Cannabacea*). U pivarstvu se koriste hmeljne šišarice, ženske biljke koje sadrže gorke smole i aromatična ulja. Hmelj se uzgaja u posebnim regijama koje imaju idealne uvjete za njegov rast. Nakon žetve, hmelj se suši kako bi se smanjio gubitak u kvaliteti sirovine. Daleko najveći proizvođači hmelja su Njemačka i SAD, kojima su za petama Češka i Kina. Slovenija je treći najveći proizvođač hmelja u Europi i četvrti najveći na svijetu. 2019. godine je 119 slovenskih uzgajivača proizvelo više od tri tisuće tona hmelja, a površine pod tom kulturom se povećavaju posljednjih šest godina. Osam posto hmelja proizvedenog u Sloveniji koriste pivovare Laško i Union u vlasništvu grupacije Heineken. (Anonymus, 2019)

Tablica.1 Proizvedena količina hmelja po zemljama (Atlas Big, 2019)

<u>Zemlja</u>	<u>Postotni udio u svjetskoj proizvodnji</u>	<u>Količina proizvedenog hmelja 2016. Godine (tisuća tona)</u>
Etiopija	28.3 %	40.07 t
SAD	27.9 %	39.53 t
Njemačka	22.6 %	31.97 t
Češka	5.4 %	7.71 t
Kina	4.5 %	6.43 t
Slovenija	1.8 %	2.48 t
Sjeverna Koreja	1.4 %	2.01 t
Poljska	1.4 %	2.00 t
Albanija	1.4 %	1.98 tž
Novi Zeland	0.6 %	865.00

Berba hmelja provodi se kad hmelj postigne fazu svoje tehnološke zrelosti. Berba se danas provodi strojno, a temelji se na odvajanju hmeljnih šišarica od stabiljke. Ubrani hmelj sadrži 70-80 % vode, i ne može se skladištiti u tome obliku bez prethodnog sušenja. Hmelj se suši na temperaturi do 50 °C do količine vode od 8-12 %, te se skladišti. Dugotrajno skladištenje hmelja može dovesti do smanjenja kvalitete kao posljedica djelovanja kisika i promjena u temperaturi. Većina hmelja se prerađuje u ekstrakte ili pelete, dok se samo jako mali dio koristi kao sirovi hmelj (hmeljne šišarice).

Lupulinske žljezde osiguravaju dovoljnu količinu gorčine i komponente arome potrebne u pivu. Hmelj generalno možemo podijeliti u dvije kategorije: gorki hmelj – bogat α - kiselinama s manjim udjelom aromatičnih spojeva i koji se u pivarstvu prvenstveno koristi za dobivanje gorčine i aromatični hmelj sa povišenim udjelom eteričnih ulja koji prvenstveno služi za dobivanje karakteristične hmeljne arome. U hmelju se nalaze i polifenoli koji također imaju važnu ulogu u hmeljenju piva. Polifenoli su važni zato što: imaju antioksidativni utjecaj, oksidiraju u crveno-smeđu boju i u kombinaciji sa željeznim solima stvaraju crne komplekse. Kao rezultat svih ovih svojstava, polifenoli također sudjeluju u stvaranju okusa i boje piva. (Kunze, 2010)

2.1.3. Kvasac

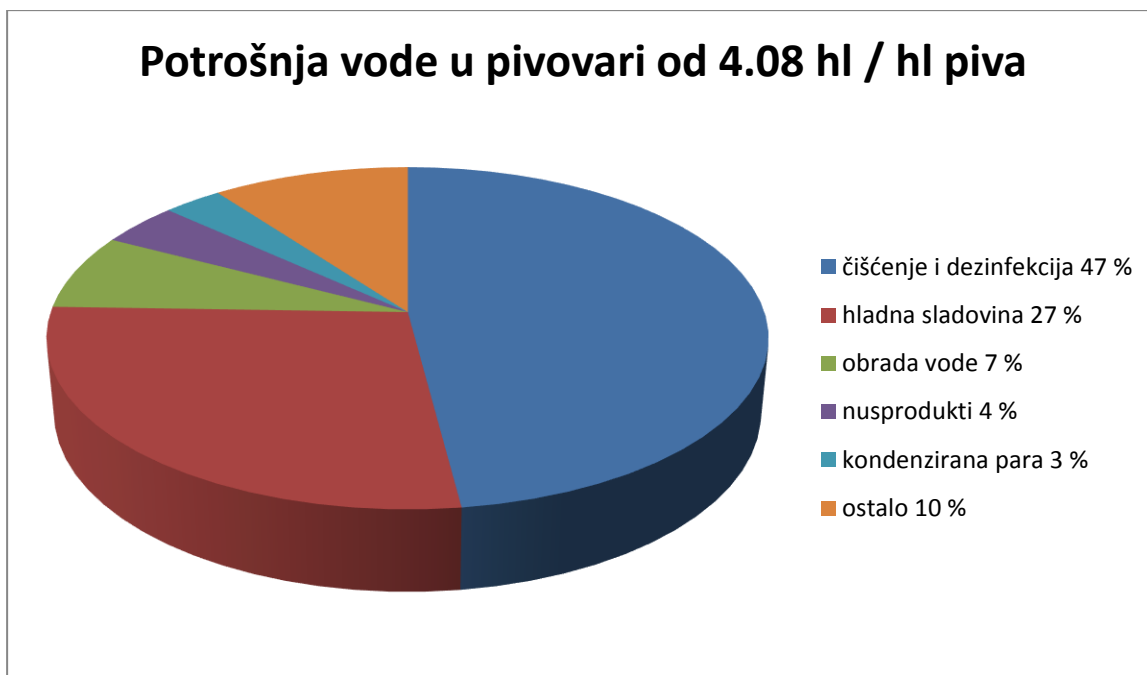
Najvažniji dio procesa proizvodnje piva je alkoholna fermentacija šećera iz sladovine u alkohol i ugljikov dioksid. Kvasac je mikroorganizam koji može dobiti energiju na 2 načina: u prisutnosti kisika respiracijom i u nedostatku kisika fermentacijom. U pivarstvu se koriste posebni sojevi kvasca roda *Saccharomyces cerevisiae* za pivo gornjeg vrenja, i *Saccharomyces carlsbergensis* za pivo donjeg vrenja. Promjene i reakcije koje se događaju tijekom fermentacije mogu se podijeliti na reakcije koje se odvijaju u glavnom dijelu fermentacije i reakcije koje se odvijaju tijekom dozrijevanja ili maturacije. Mnogi metabolički nusprodukti tijekom fermentacije iz kvasca prelaze u pivo, od kojih neki reagiraju međusobno ili samo mijenjaju svoj udio i sastav. Nusproizvodi fermentacije zajedno sa hmeljnim komponentama imaju izrazit utjecaj na aromu i okus piva. Za uspješno vođenje procesa je jako važno znati na koji način nastaju i na koji se način razgrađuju. Pivar nema direktan utjecaj na to kako i što će kvasac odraditi, ali ima veliku ulogu u tome da kvascu osigura idealne uvjete za njegovo djelovanje. Nakon doziranja u sladovinu, kvasac prvo mora proći fazu prilagodbe na drugačiju temperaturu, pH, visoku koncentraciju šećera itd. Tijekom prilagodbe kvasac izlučuje aminokiseline i nukleotide koje kasnije reapsorbira. Što je viša temperatura to je izlučivanje sve jače, ali srećom prilagodba kvasca ne traje jako dugo. Prije nego što kvasac stupi u kontakt s novim medijem, stanice kvasca prvo troše rezervne nutrijente koji im odmah daju potrebnu inicijalnu energiju: sadržaj glikogena u stanici kvasca pada. Zahvaljujući suvišku fermentabilnih šećera u sladovini, kvasac brzo započinje njihovu razgradnju respiracijom i fermentacijom. Visok udio šećera usporava respiraciju i ubrzava fermentaciju koja se brzo intenzivira (Crabtree efekt). Kvasci počinju stvarati nove stanične strukture uz povećanu propagaciju (umnožavanje) pupanjem, za što crpe gradivne elemente kojih u sladovini ima u dovoljnoj količini. Glukoza se u citoplazmi razlaže glikolizom do krajnjeg produkta koji se zove piruvat. Na kraju uz prisutnost cinka, se pretvara u etanol i CO₂. Istovremeno kvasac započinje stvaranje novih stanica, za što mu je potrebna energija koju dobiva iz nutrijenata. Kvascu su za rast potrebni određeni spojevi iz sladovine kao što su: aminokiseline – za stvaranje novih staničnih tvorevina (kvasac može i samostalno stvarati aminokiseline iz drugih izvora dušika), fosfati – za veze u ATP-u, i u fosfolipidnom dvosloju stanične membrane, šećer – za formiranje rezerve ugljikohidrata, sol i elementi u tragovima (npr. cink), kisik – koji treba biti u suvišku za sintezu masnih kiselina i sterola, koji su esencijalni za stvaranje novih staničnih membrana. (Kunze, 2010)

2.1.4. Voda

Voda je kvantitativno najzastupljenija sirovina u proizvodnji piva. Samo jedan dio vode se koristi direktno za proizvodnju piva, dok se ostatak koristi u svrhu čišćenja, ispiranja, Cipo-ova, hlađenja sladovine, za podmazivanje transportnih linija za boce itd. Opskrba i priprema vode je izuzetno važna pivaru zato što kvaliteta vode direktno utječe na kvalitetu proizvedenog piva. Zahvaljujući porastu troškova za korištenje svježe vode i za zbrinjavanje otpadne vode, pivovare su bile prisiljene maksimalno smanjiti potrošnju vode. Potrošnja vode u pivovari je u prosjeku 5 do 8 hl/po hl piva. Prema Kunzeu moguće je izračunati potrošnju vode po 1 hl proizvedenog piva po pojedinim dijelovima proizvodnje što je navedeno u tablici br. 2. (Kunze, 2010).

Tablica 2. Potrošnja vode u pojedinim dijelovima proizvodnje piva (Kunze, 2010)

odjel proizvodnje	hl vode / po hl piva
Pogon varionice do vrionog podruma	1.80 – 2.20
Vrioni podrum i pogon kvasca	0.50 – 0.80
Ležni podrum	0.30 – 0.60
Filtracija	0.10 – 0.50
Punionica	0.90 – 2.10
Ostala čišćenja i administracija	1.00 – 3.00
Parni kotlovi	0.10 – 0.30
Zračni kompresori	0.12 – 0.50
Ukupna potrošnja	4.90 – 12.64



Slika 2. Potrošnja vode po načinu i mjestu upotrebe (Kunze, 2010)

Potreba za smanjenjem potrošnje vode dovodi nas do ideje da se voda koja se već iskoristila u nekom dijelu procesa ponovno reciklira i koristi u nekom drugom dijelu proizvodnje. Primjer toga može biti vruća voda koja se zagrije tijekom hlađenja sladovine na izmjenjivaču topline - takva voda se može koristiti u varionici za ukomljavanje.

Voda koje se u pivovari koristi za proizvodnju, mora odgovarati lokalnom zakonu i pravilniku o vodi za piće. Takvi pravilnici naglašavaju da voda za piće mora biti bezbojna, bez mirisa i bistra bez zamućenja, te njen ionski sastav mora biti unutar zadanih parametara.

Tablica 3. Mikrobiološki parametri zdravstvene ispravnosti vode za piće (Narodne novine, 2004)

Pokazatelj	Jedinica voda za piće	MDK	Jedinica voda u ambalaži
Escherichia coli	Broj/100 ml	0	Broj/250 ml
Enterokoki	Broj/100 ml	0	Broj/250 ml
Ukupni koliformi	Broj/100 ml	0	Broj/250 ml
Clostridium perfringens (Uključujući spore)	Broj/100 ml	0	Broj/100 ml
Broj kolonija 22°C	Broj/1 ml	100	Broj/1 ml
Broj kolonija 37°C	Broj/1 ml	20	Broj/1 ml
Sallmonella spp.	Broj/1000 ml	0	Broj/1000 ml
Shigella spp.	Broj/1000 ml	0	Broj/1000 ml
Vibrio cholerae	Broj/1000 ml	0	Broj/1000 ml
Paraziti	Broj/1000 ml	0	Broj/1000 ml
Enterovirusi	Broj/1000 ml	0	Broj/5000 ml
Pseudomonas acruginosa	Broj/1000 ml	0	Broj/250 ml

Tablica 4. Kemijski pokazatelji ispravnosti vode za piće. (Narodne novine, 2004)

Parametar	MDK vrijednost	Mjerna jedinica
Akrilamid	0,10	µm /l
Antimon	5,0	µm /l
Arsen	10	µm /l
Bakar	2000	µm /l
Benzen	1,0	µm /l
Benzo(a)piren	0,010	µm /l
Bor	1000	µm /l
Bromat	10,0	µm /l
Cijanid	50	µm /l
1,2-dikloreten	3,0	µm /l
Epiklorhidrin	0,10	µm /l
Fluorid	1500	µm /l
Kadmij	5,0	µm /l
Krom	50	µm /l
Nikalj	20	µm /l
Nitrat	50	mg/l (NO ₃ -)
Nitrit	0,10	mg/l (NO ₂ -)
Olovo	10	µm /l
Pesticidi	0,10	µm /l
Pesticidi – ukupno	0,50	µm /l
Poluciklički aromatski ugljikovodici	0,10	µm /l
Selen	10	µm /l
Tetrakloreten i trikloreten	10	µm /l
Trihalometani - ukupno	50	µm /l
Vinilklorid	0,50	µm /l
Živa	1,0	µm /l

U vodi se uvijek nalaze otopljene soli u obliku disociranih iona. Većina iona iz vode ne reagira sa komponentama iz slada tijekom procesa ukomljavanja, ali mali dio reagira. Ioni u vodi se mogu podijeliti na kemijski aktivne ione i kemijski neaktivne ione.

Kemijski neaktivni ioni se smatraju oni ioni koji ne ulaze u kemijske reakcije sa komponentama iz slada i prelaze nepromjenjeni u pivo. Velika količina neaktivnih iona može imati pozitivan i negativan utjecaj na okus piva. Npr. natrijev klorid daje pivu zaokružen (cijelovit) okus što se smatra pozitivnim utjecajem.

Kemijski reaktivni ioni reagiraju sa komponentama iz slada, i utječu na pH vrijednost tijekom proizvodnje piva.

Izuzetno je bitno držati pod kontrolom parametre vode koja se koristi za proizvodnju piva. Obrada vode je izuzetno važan korak kako bi se dobila kvalitetna sirovina za proizvodnju piva. Voda se obrađuje kako bi se iz nje uklonile krutine, otopljene tvari, smanjenje alkaliteta vode, uklanjanje mikroorganizama i otopljeni plinova.

Suspendirane tvari se iz vode najčešće uklanjaju bistrenjem u spremnicima za taloženje i filtracijom. U spremnicima za taloženje uklanja se 60-70% suspendiranih tvari iz vode, dok se ostatak tvari koji se ne može odvojiti taloženjem odvaja filtracijom.

Filtracija vode se provodi preko sloja čistog kvarcnog pijeska veličine zrna slada. Suspendirane tvari zaostaju u porama pijeska tijekom prelaska vode preko filtarskog sloja debljine 2 metra. Nakon nekoliko dana voda se na silu provodi kroz filtarski sloj obrnutim smjerom te se tlači zrakom.

Otopljene tvari u vodi su ioni koji u velikim količinama se mogu nataložiti u cijevima ili čak izazvati koroziju cijevi. Takve ione je poželjno ukloniti iz vode što se postiže adsorpcijom, promjenom naboja iona, i neutralizacijom kroz reakcije sa metalnim ionima (Al,Fe) te na kraju filtracijom.

Alkalitet vode za proizvodnju piva se snižava: smanjenjem karbonatne tvrdoće (dekarbonizacijom), povećanjem nekarbonatne tvrdoće i neutralizacijom. Dekarbonizacijom se smatra uklanjanje karbonatne tvrdoće zagrijavanjem, dodatkom kalcijeva hidroksida i upotrebom ionskog izmjenjivača.

Ionska izmjena je postupak koji uključuje upotrebu ionskih izmjenjivača koji mogu vezati ione iz otopine, a otpuštati jednaku (ekvivalentnu) količinu vlastitih iona. Ionski

izmjenjivači su uglavnom visokopolimerni spojevi (postoje i mineralni) koji imaju svojstvo da vežu ione iz otopine, a pri tome oslobađaju jednaku količinu istoimeno nabijenih iona. Ionske smole sadrži različite kopolimere čvrsto vezane u trodimenzionalanu strukturu na koju su pričvršćene ionske skupine. Ovisno o strukturi imamo kationske i anionske izmjenjivače. Glavna zadaća ionskih izmjenjivača je dekarbonizacija vode (uklanjanje karbonatne tvrdoće vode) slabo kiselom izmjenom, mekšanje vode (uklanjanje ukupne tvrdoće vode odnosno kalcijevih i magnezijevih soli) neutralnom izmjenom, mekšanje vode uz prethodnu dekarbonizaciju vode te demineralizacija vode (uklanjanje soli iz vode).

Povratna osmoza ili reverzna osmoza je skoro savršen proces filtriranja vode. Ovaj proces omogućuje odstranjivanje najsitnijih čestica iz vode. Povratna osmoza se koristi za pročišćavanje vode i odstranjivanje neorganskih minerala, soli i ostalih nečistoća u cilju poboljšanja izgleda, ukusa i ostalih svojstava vode. Tako se dobiva kvaliteta vode za piće koja zadovoljava sve standarde. (Anonymus, 2018)

2.2. Filtracija piva

Na kraju procesa dozrijevanja je cjelokupna količina kisika potrošena te ga u pivu uopće ne bi trebalo biti, ali i dalje sadrži čak do 1×10^6 stanica kvasca i ostalih čestica koje uzrokuju mutnoću gotovog piva u boci, npr. bjelančevine i taninski kompleksi, koje moraju biti uklonjene iz njega.

Svrha filtracije piva je dobiti stabilno pivo, bez vidljivih promjena kroz određeno vrijeme. Na dobro i kvalitetno provođenje filtracije utječe niz faktora od kvalitete sirovine pa do vođenja procesa proizvodnje piva. (Kunze, 2010)

2.2.1. Faktori koji utječu na filtrabilnost piva

Filtrabilnost piva jako ovisi o cijelom procesu proizvodnje. Ukoliko se tijekom procesa dogodila neka greška, ili se koristio loše modificiran slad, to će se najbolje vidjeti prilikom filtracije piva.

Najvažniji faktori koji utječu na filtrabilnost piva su: kvaliteta slada, tehnologija u varionici, kvaliteta sladovine i fermentacija i dozrijevanje.

Kvaliteta slada je jedan od presudnih faktora za dobro i kvalitetno pivo. Kolbachov broj ili indeks je pokazatelj modifikacije proteina unutar zrna slada. Ako nam je stupanj modifikacije proteina u sladu nizak, također će i modifikacija slada biti niža a time i slabija razgradnja škroba tijekom procesa ukomljavanja. β -glukani koji zaostanu nerazgrađeni mogu dovesti do stvaranja gela koji dovodi do problema sa filtracijom piva, te je zato iznimno važno da se preostali β -glukan razgradi prije hidrolize škroba.

Uz pomoć viskoznosti kongresne sladovine može se zaključiti kako će se određena sirovina ponašati tijekom procesa proizvodnje piva, a najvažnije tijekom cijedenja tj. filtracije komine i na kraju tijekom filtracije piva. Viskoznost kongresne sladovine trebala bi iznositi 1,5 do 1,6 mPa·s. U samljevenom sladu razlika fino mljevenog i grubo mljevenog ekstrakta trebala bi biti manja od 2%.

Mljevenje slada je bitan početni korak zato što se dobrim usitnjavanjem enzimi iz slada lakše aktiviraju i sudjeluju u proizvodnji sladovine. Makromolekularni proteini bi trebali biti istaloženi najkasnije nakon kuhanja sladovine, a taloženje je bolje ako je intenzitet kuhanja jači.

Fermentacija i dozrijevanje piva je važan korak u proizvodnji piva zato što o tom koraku nastaje alkohol i spojevi zaslužni za aromu piva. Važan faktor za dobru fermentaciju je kvaliteta sladovine, koja ovisi o procesu u varionici (razradnja proteina, β -glukana, kvaliteta slada, mljevanje slada, ispiranje tropa).

Kvalitetna fermentacija se postiže ukoliko imamo kvalitetnu sladovinu i kvalitetan kvasac. Sladovina mora sadržavati sve nutrijente potrebne kvascu za rast i razvoj (cink, kalcij, FAN itd.) kako bi dobro prevrio sladovinu te pretvorio fermentabilne šećere u alkohol i CO₂. Fiziološko stanje kvasca također jako ovisi o tijeku fermentacije piva. Kvasac sa manjim postotkom suhe tvari i sa više mrtvih stanica će manje fermentirati pivo, te ćemo na kraju

dobiti neprevrelo pivo sa višim ekstraktom, nego da se koristio kvasac optimalnih vrijednosti suhe tvari i mrtvih stanica u kvascu (mrtve stanice do 5% i suha tvar veća od 50 %). Nepotpuna fermentacija uzrokovana lošom kvalitetom sirovine i kvasca dovodi do lošeg taloženja kvasca nakon fermentacije i posljedično do zamućenja piva. Pivo prije nego se filtrira bi trebalo zadovoljavati neke od kriterija kao što su: temperatura -1 do 0°C, udio CO₂ od najmanje 0,5%, pH vrijednost od 4,2 do 4,4, koncentracija kvasca od 1-2 x 10⁶ /ml, udio diacetila najviše 0,10 mg/l i udio kisika 0 mg/l. (Bamforth, 2008)

2.2.2. Razne filtracijske metode

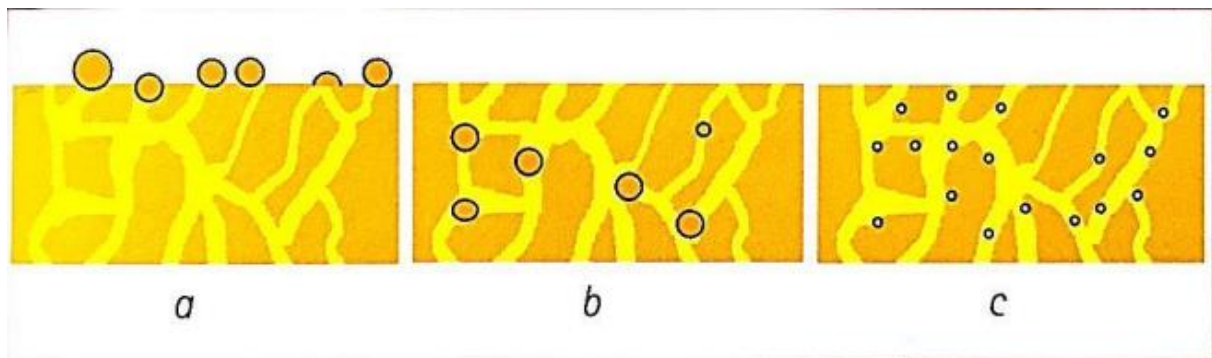
Filtracija piva je proces u kojem se još mutno pivo provodi kroz filtarski medij dok se ne dobije bistar filtrat i ostaci na filteru tzv. filtarski kolač. Bistrina filtrata ovisi o vrsti filtracije koja se provodi. Ovisno provodi li se površinska, dubinska ili sterilna filtracija, svojstva piva se razlikuju nakon svake filtracije po zaostalim mikroorganizmima, zaostalim česticama koloida (proteini i polifenoli), tanina itd. Sa povećanjem finoće filtracije, protok kroz filter se smanjuje zato što finija filtracija zahtijeva manje pore na filteru te stoga tekućina kroz njega prolazi sporije.

Sila koja pogoni samu filtraciju je razlika u ulaznom i izlaznom tlaku na samom filteru. Ulazni tlak u filter je uvijek veći nego izlazni. Što je veća razlika tlakova to je veći otpor na filteru, što može uzrokovati prekid filtracije.

Površinska filtracija je princip filtracije gdje čestice ne mogu prolaziti kroz pore u filtarskom sloju zato što su čestice u pivu većeg promjera nego pore na filtarskom sloju, te se zadržavaju na površini gdje s vremenom sve više stvaraju filtarski kolač. Filtracija je efikasna, ali protok na filteru kontinuirano opada zato što dolazi do brzog povećanja debljine filtarskog kolača, zbog čega dolazi do začepljenja filtarskog sloja.

Dubinska filtracija je postupak gdje se koriste filtarski mediji sa manjim i većim porama od promjera čestica koje želimo ukloniti iz otopine. Zahvaljujući velikoj poroznosti i strukturi nalik na labirint, stvara se velika filtracijska površina koja medij vodi u raznim smjerovima. Velike čestice se zbog svoje veličine odvajaju na površini filtarskog sredstva i s vremenom blokiraju pore filtra te posljedično smanjuju protok kroz njega. Najmanje čestice se odvajaju adsorpcijom, što se događa zbog razlike u naboju između filtera i zadržanog materijala na filteru, dok se čestice srednje veličine odvajaju zadržavanjem u strukturi pomoćnog filtarskog

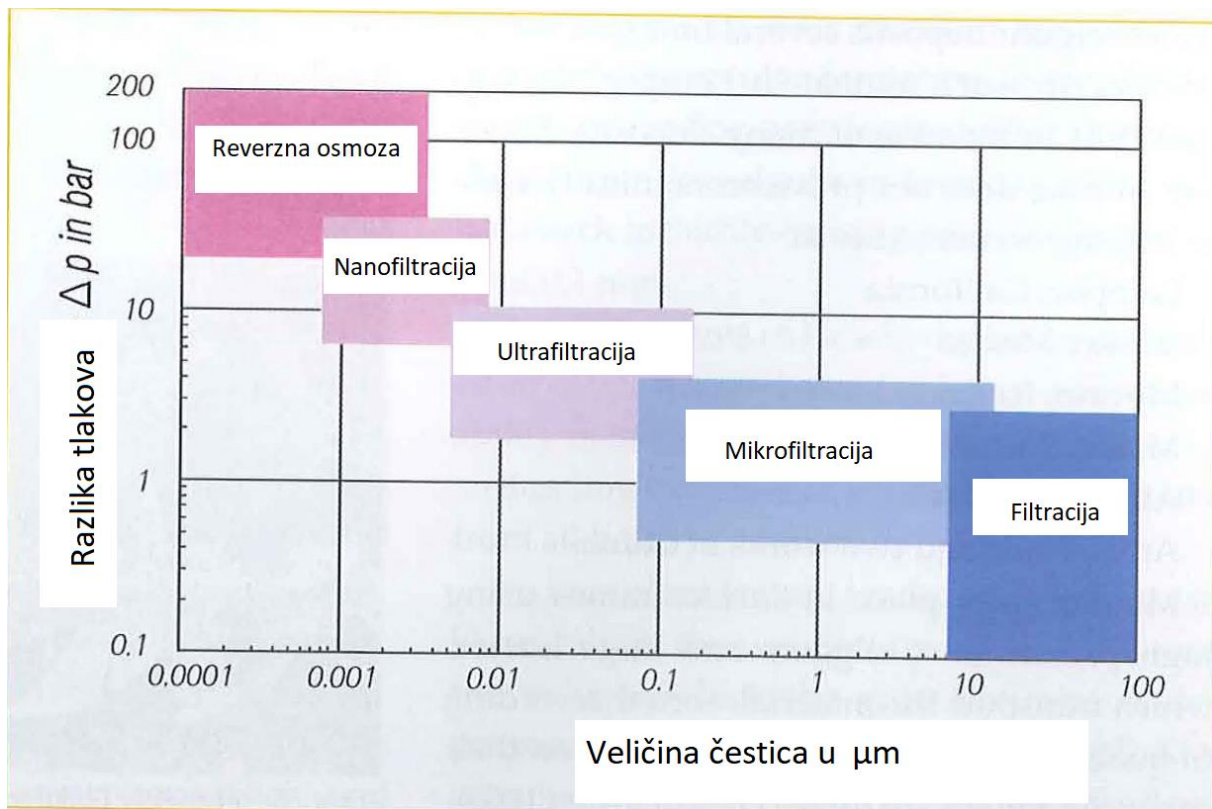
sredstva. Filtracija i adsorpcija se većinom koriste u kombinaciji jedna sa drugom. Postoji i opcija unakrsne filtracije gdje nefiltrirano pivo prolazi kroz filtarsku membranu. Tijekom filtracije se mutno pivo dovodi ne okomito nego paralelno sa membranom što omogućuje da se čestice koje zaostanu na membrani ispiru s površine, tako da pivo može više puta cirkulirati preko membrane. (Kunze, 2010)



Slika 3. Vrste filtracije a) površinska filtracija b) dubinska filtracija c) membranska filtracija (Kunze, 2010)

2.2.3. Vrste filtra i pomoćna filtracijska sredstva

Za filtraciju piva koriste se filtri različitog oblika i različite izvedbe kao što su: metalna sita, sita s prorezom, sita sa paralelnim rasporedom žica u svijećastom filtru, metalna i platnena sita. Metalna platna su lakša za čišćenje i sterilizaciju. Moderna tekstilna platna bazirana na polipropilenu su skoro jednaka kao i metalna platna osim što se ne mogu temeljito sterilizirati i što su dosta kemijski nestabilna. Filtarska platna mogu biti i od celuloze, pamuka, staklenih vlakna ili drugih materijala. Ta filtarska platna danas su našla široku primjenu i dostupna su za različite tipove filtracije sve do sterilne filtracije. Membrane se danas uglavnom proizvode od poliuretana, poliamida, poliakrilata, polietilena, polikarbonata itd. Postoje i membrane od α – aluminijevog oksida koje su posebno proizvedene sa veličinama pora od 0.4 do 0.6 μm . Kada se govori o filtrima koji sadrže jako fine pore, tad govorimo o mikrofiltrima koji odvajaju čestice veličine 10^{-1} do 10^2 μm . Ultra i nano filtri su u rangu od 10^{-3} do 10^{-1} μm .



Slika 4. Omjer veličina čestica i tlakova ovisno o tipu filtracije (Kunze, 2010)

Za filtraciju piva se koriste naplavni filtri, slojni filtri, modularni i membranski filtri. Naplavni filtri su filtri gdje se filtracija provodi preko pomoćnog filtracijskog sredstva, koje je naplavljeno na filter. Naplavlivanje filtra je jako bitno zato što su pore na filteru prevelike da bi se samo kroz njih provodila filtracija pa je nužno naplavlivanje pomoćnim filterarskim sredstvom koje će zapuniti pore na filteru i omogućiti filtraciju kroz njega. Naplavlivanje filtra predstavlja proces u kojem se formira filterarski kolač. Osnovno ili primarno naplavlivanje se provodi uz recirkulaciju koncentrirane suspenzije grube dijatomejske zemlje (tzv. kieselghur) u vodi, kako bi se na situ formirao primarni sloj koji sprječava prolaz grubih čestica, a otporan je na tlak. Drugo naplavlivanje se provodi sa suspenzijom finije zemlje kako bi narastao ravnomjerno raspoređen tzv. sigurnosni sloj debljine 1,5 do 3 mm. Tijekom procesa filtracije piva, smjesa srednje fine (2/3) i fine (1/3) dijatomejske zemlje se dozira postupno u pivo kako bi se postigla dobra propusnost filtracijskog sloja te stalni protok i postepeno povećavanje izlaznog tlaka (0 do 0,3 bara/h) bez probijanja filterarskog sloja. Kieselghur filtracija se provodi kroz sloj dijatomejske zemlje naplavljene na filterarsko platno ili sito sa promjerom od 70 do 100 μm, koji je mnogo veći od promjera čestica dijatomejske

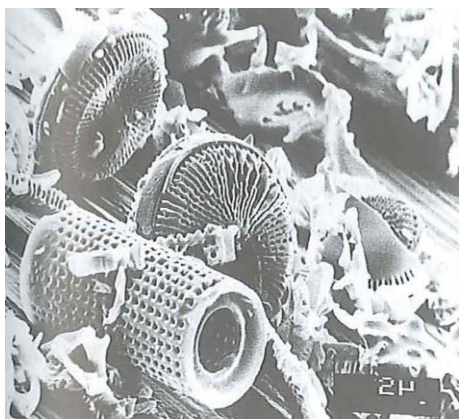
zemlje (2 – 4 μm). Kako bi dobili što bolji filtracijski efekt, filtarski kolač se stvara u dva sloja. Bazni, primarni sloj se stvara tako da nefiltrirano pivo koje sadrži koncentriranu otopinu grubog kieselghura (veličine čestica 2-4 μm) prolazi kroz filter i cirkulira na tlaku od 2 do 3 bar-a kroz filtar. Taj bazni sloj služi kako ni najmanje čestice ne bi prošle u filtrat i osnova je za daljnje slaganje slojeva. Drugi sloj, tzv. sigurnosni sloj (veličine čestica 2-4 μm) osigurava da čak i prvi filtrat nakon naplavlivanja bude čist. (Kunze, 2010)

2.2.4. Pomoćna filtarska sredstva

Pomoćna filtarska sredstva su praškaste tvari, kao npr. kieselghur ili perlit, koji se naplavljuju na filtar i zbog svoga oblika i strukture omogućuju filtraciju piva. U pivovarama se kieselghur najčešće koristi za filtraciju piva, a perlit za sladovinu.

Kieselghur je termin koji se koristi za fosilne ostatke jednostaničnih alga koje su u najvećoj mjeri sačinjene od silicijevog dioksida. Prilikom proizvodnje sirovi materijal se razdvaja i suši u rotacijskim pećima na temperaturi od 400 °C. U ovome stanju prirodna forma i poroznost su zadržane, pa se tako može proizvoditi kieselghur koji omogućuje oštru i temeljitu filtraciju.

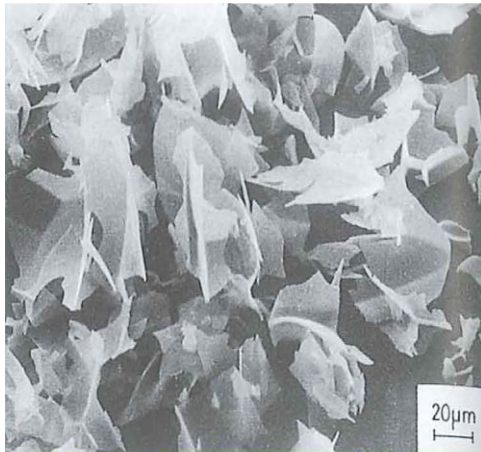
Perlit je sirovina vulkanskog podrijetla i sastoji se primarno od aluminijskih silikata. Sirovi perlit se zagrijava na 800 °C, i potom se isprava sva voda koje se u njemu nalazi pri čemu dolazi do njegova bubrenja i pucanja. Takvim načinom obrade se dobiva jako lagan prah koji je 20 do 40 % lakši od kieselghura.



Slika 5. Grubi kieselghur (povećanje pod mikroskopom 1000x) (Kunze, 2010)



Slika 6. Fini Kieselghur (povećanje pod mikroskopom 1000x) (Kunze, 2010)



Slika 7. Perlit (povećanje pod mikroskopom 1000x) (Kunze, 2010)

2.2.5. Kisik tijekom filtracije

Na kraju fermentacije i dozrijevanja količina kisika se smanjuje do 0.0 do 0.1 mg O₂/l. Nije nemoguće, ali je jako teško zadržati tako niski udio kisika i nemoguće je izdvojiti sav naknadno otopljen kisik. Najčešći razlozi naknadnog otapanja kisika u pivu su kad se koristi voda koje nije deaerirana, korištenje nedovoljno čistog CO₂ i ako u šupljim i nezapunjenim dijelovima na filtarskom sredstvu zaostane zrak. Utjecaj kisika tijekom filtracije može jako utjecati na kvalitetu filtriranog piva. Postoji nekoliko postupaka kojima se rizik od uvođenja kisika tijekom filtracije može svesti na minimum. Neki od tih postupaka su: sprječavanje ulaska kisika u tankove nakon pražnjenja, korištenje CO₂ za protutlak, ispuštanje zraka iz cijevi i tankova potapanjem deaeriranom vodom, uklanjanje zračnih džepova u cijevima, korištenje inertnih plinova kao što su CO₂, N₂, itd. (Kunze, 2010)

Tablica 5. Količina kisika u pivu tijekom pojedinih faza proizvodnje (Anonymus, 2020)

Proces proizvodnje piva	Količina kisika
Sladovina	6 – 4 ppm
Fermentacija	< 0.03 ppm
Filtracija	0.001 – 0.2 ppm
Filtrirano pivo	0.001 – 0.2 ppm
Pivo na filtru	0.001 – 0.2 ppm
Pivo u bocama	0.03– 0.25 ppm

2.3. Stabilizacija i pasterizacija

Male pivovare koje proizvode svoje pivo za vlastite potrebe npr. (restorane, barove) se ne moraju brinuti oko stabilnosti piva zato što svoje pivo odmah poslužuju svježe i nefiltrirano. Ukoliko se pivo prodaje daleko od mjesta gdje je proizvedeno, stabilnost piva je jako bitan faktor. Mikroorganizmi se u pivu mogu vrlo lako razviti, i uzrokovati nepoželjne promjene u organoleptičkim svojstvima. Starenjem piva, koloidne čestice (proteini i polifenoli) se u njemu povećavaju te uzrokuju mutnoću. Kako bi izbjegli takve probleme, pivo je potrebno mikrobiološki i koloidno stabilizirati. U Heineken hrvatska provodi se filtracija piva kroz Kieselghur filter. Odležano pivo iz pogona fermentacije dolazi u filtraciju te se razrijeđuje vodom (zato što se tijekom kuhanja sladovine koristi high gravity postupak). Pivo ulazi u pufer tank te iz njega odlazi dalje kroz Kieselghur filter, trap filter te pvpp filter i na kraju u tank za filtrirano pivo (BBT-Bright Beer Tank). Tijekom filtracije u pivo se dozira kieselghur za filtraciju i silika gel za biološku stabilizaciju piva. Male pivovare rijetko filtriraju svoje pivo. Većinom se pivo prirodno istaloži te se nefiltrirano puni u amabalažu. Ukoliko male pivovare imaju potrebu za filtriranjem piva to provode kroz male pločaste filtere. (Kunze, 2010)

2.3.1. Koloidna i biološka stabilizacija piva

Mikrobiološku stabilnost piva mogu narušiti: nečiste operacije u pogonu (nedovoljna higijena opreme i pogona, npr. loše oprani tankovi, nedovoljna sterilizacija opreme i loše održavanje.), preopterećenje kieselghur filtra, uvođenje kisika u pivo tijekom filtracije i punjenja piva, toplo skladištenje itd. Pivar tijekom proizvodnje piva ima velik utjecaj na ove nabrojane faktore.

U pivu se mogu naći različiti mikroorganizmi (divlji kvasci kao što *Brettanomyces*, *Candida*, *Cryptococcus* itd; bakterije kao što su *Lactobacillus*, *Acetobacter*, *Gluconobacter*, *Pectinatus*, *Megsphaera*) jedni štetni za potrošače, a drugi štetni za pivo. Biološka stabilizacija piva ovisi o nekoliko faktora: broju i vrsti mikroorganizama, broju stanica kvasca zaostalih u filtriranom pivu, koncentraciji hranjivih tvari u pivu (šećer, O₂), uvjetima čuvanja (temperatura i svjetlost). Biološki stabilnim pivom smatra se pivo koje ne sadrži mikrobne stanice, ima visok stupanj prevrenja (razlika graničnog stupnja prevrenja i stvarnog stupnja do 2 %), sadrži malo otopljenog kisika (ispod 0,05 mg/l) i nije sekundarno zagađeno prilikom otakanja u ambalažu (punjač, boce, čepovi). Povećanjem oštine filtracije, brzina filtracije se smanjuje ali se povećava biološka trajnost piva.

Biološku stabilizaciju piva veže pravilnik o mikrobiološkim standardima koji jamči da je pivo zdravstveno ispravno, tj. proizvedeno i otočeno u primjerenim higijenskim uvjetima, jer sadrži samo ograničeni broj živih stanica kvasca, aerobnih mezofilnih bakterija i enterobakterija. Za biološku stabilizaciju piva primjenjuju se postupci smanjivanja broja ili potpunog uklanjanja, odnosno inaktivacije živih organizama. Kvaliteta procesa filtracije i biološka trajnost se povećavaju oštrinom filtracije. U svrhu povećanja biološke trajnosti može se koristiti naplavna ili dubinska filtracija, odnosno površinska filtracija kroz slojnice ili membrane različitih pora. Biološka stabilnost se može postići povećanim doziranjem fine dijatomejske zemlje tijekom filtracije ili primjenom sekundarne filtracije piva kroz slojnice ili membrane finog poroziteta.

Koloidne čestice izazivaju zamućenje piva tijekom čuvanja u ambalaži, nakon dugog vremena skladištenja. Mogu se razlikovati dvije vrste zamućenja, a to su hladno ili prolazno i trajno ili starosno zamućenje. Prolazno zamućenje se događa tijekom čuvanja piva u hladnjaku pri temperaturi od -2°C do +5°C kad se molekule proteina i polifenola međusobno povezuju vodikovim vezama i tako povećavaju. Na njih se vežu ugljikohidrati i mineralni sastojci, pa se pivo zamuti, ali blagim i kratokrajnim zagrijavanjem pivo se opet izbistri. Takva vrsta zamućenja s vremenom prelazi u trajno zamućenje i ne gubi se nakon zagrijavanja piva. Tijekom filtracije piva, kako bi postigli dugu koloidnu stabilnost piva, pivo treba stabilizirati dozvoljenim sredstvima kao što su bentoniti, silikagel i PVPP.

Silikagel se dodaje pivu u pufer tanku u omjeru od 50 do 150 grama po satu u svrhu odvajanja proteinskih sastojaka iz piva. U pufer tanku se provodi stabilizacija prije doziranja pomoćnog filtracijskog sredstva ili se doziraju zajedno. PVPP se dodaje u grubo filtrirano pivo prije sekundarne filtracije kako bi selektivno apsorbirao sve taninske (polifenolne)

spojeve, te se najčešće koristi u kombinaciji sa silikagelom. Princip djelovanja PVPP-a je da se taninski sastojci u kiselom mediju vežu na PVPP vodikovim vezama, a pošto te veze pucaju u lužnatom moguća je regeneracija PVPP-a lužinom. (Kunze, 2010)

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. MATERIJALI

U svrhu provedbe eksperimentalnog dijela završnog rada korišten je proizvodni pogon pivovare Heineken hrvatska. Svaki dio procesa je odrađen u kontroliranim uvjetima i sa kontroliranim parametrima. Eksperimentalni dio ovog rada obuhvaća sve dijelove proizvodnje piva od varionice (ukomljavanje i kuhanje sladovine), fermentacije (hlađenje sladovine, doziranje kvasca, fermentacija i odležavanje) do filtracije piva. Pri izradi ovog rada korišteni su procesi proizvodnje i oprema za proizvodnju piva. Korišten je pivarski slad kao osnovna sirovina za proizvodnju piva, hmelj i voda. U pogonu varionice proizvodnja se provodila preko kotla za ukomljavanje, međuspremnik, filter komine Meura, kotla sladovine i taložnika. U pogonu fermentacije koristio se hladnjak sladovine (pločasti izmjenjivač topline), cjevovodi po kojima se transportirao medij, CCT (cilindrično konusni tankovi) za fermentaciju piva, centrifugalni separator Alfa Laval za separaciju kvasca iz piva, tankovi za odležavanje piva. U pogonu filtracije koristio se pufer tankovi, kieselghur filter, trap filter, pvpp filter, te dozirke za kieselghur i silika gel za stabilizaciju piva, te na kraju tankovi za filtrirano pivo (BBT- bright beer tank).

3.2 METODE

U varionici su se koristile dvije vrste sirovina, sirovina A i sirovina B. Sirovina A je bio bolje modificiran (kvalitetniji) slad, a sirovina B je bio manje modificiran slad (manje kvalitetan). Oba piva su kuhana prema istoj recepturi, samo se koristila druga sirovina. Proizvodilo se Karlovačko pivo, jačine 17°P, te je za kuhanje tog piva korištena High gravity metoda. High gravity metoda je metoda proizvodnje visoko koncentriranog piva, tj visoke koncentracije prevrelog ekstrakta u pivu. Tako proizvedeno pivo se miješa sa deaeriranom vodom tokom filtracije piva u uređaju koji se naziva karboblender na standardne vrijednosti od 10 do 11 % ekstrakta za svijetlo lager pivo. Fermentacija piva se odvijala na 14°C sa dvije različite generacije kvasca, sve do pada ekstrakta na 3,5 do 4°P (kad je razlika između dva mjerenja manja od 0,5°P). Odležavanje piva se provodilo na 0°C. Pivo se filtriralo i stabiliziralo kroz Kieselghur filter, te se filtracija provodila pivo na pivo bez stanke.

3.3. PROIZVODNJA PIVA

Mjereni su protoci pojedinih uvaraka na kominskom filtru Meura, ukupno vrijeme potrebno za proizvodnju pojedinog uvaraka, dobivena količina sladovine po uvarku te njena koncentracija izražena u °P. **Stupanj Plato (° P)** je mjerilo koncentracije otopljenih tvari, u ovom slučaju fermentabilnih šećera u sladovini. Stupanj Plato se koristi za kvantitativno određivanje količine ekstrakta u pivu. 10 ° P će sadržavati 10g ekstrakta na 100g sladovine. Pivaru je ta mjera izuzetno bitna jer određuje potencijalnu količinu alkohola u pivu. Svaki stupanj Plato (° P) odnosi se približno na 0,4% alkohola. Skuhana sladovina se ohladila preko izmjenjivača topline koji hladi sladovinu s vodom hlađenom glikolom. U svrhu eksperimenta punjena su 2 fermentora, svaki po četiri uvaraka sladovine. Jedan fermentor je bio punjen sladovinom dobivenom od sirovine A, a drugi fermentor dobiven od sirovine B. U Fermentor A dozirao se kvasac KC-1 prve generacije sa udiom mrtvih stanica od 2,7% i suhom tvari od 54%, a u fermentor B se dozirao kvasac KA-3 treće generacije sa udjelom mrtvih stanica od 4,2% i suhom tvari od 50%, te se pratila brzina fermentacije u svakom od fermentora. Završetkom fermentacije izdvojio se kvasac iz svakog fermentora te se usporedila količina dobivenog kvasca i analizirala njegova suha tvar i postotak mrtvih stanica. Nakon izdvajanja kvasca, uzorkovano je pivo iz svakog fermentora, te se pratio udio diacetila u pivu. Udio diacetila bi za Karlovačko 17 °P trebao biti ispod 0,110. Kad je diacetil dostigao graničnu vrijednost fermentori su pušteni na hlađenje do 0 °C. Ohlađeno pivo iz fermentora je centrifugirano preko centrifugalnog separatora u svrhu uklanjanja sitnih ostataka kvasca, hmelja itd. te je pivo iz fermentora prebačeno na odležavanje pri 0 °C. Prije puštanja piva na filtraciju, ispušten je talog iz svakog pojedinog fermentora pri čemu je bila vidljiva razlika u količini istog, a na što direktno utječe kvaliteta same ulazne sirovine. Odležano pivo se filtriralo preko kieselghur filtera, te smo pratili protok i tlak na filtru, te doziranje pomoćnih filtracijskih sredstava.

O.G. tj Original Gravity je mjerilo fermentabilnih i nefermentabilnih sastojaka u sladovini prije fermentacije. Ti sastojci su šećeri koji će uz pomoć pivskog kvasca fermentirati u alkohol. O.G. daje pivaru naznake kolika će biti potencijalna količina alkohola u finalnom proizvodu.

4. REZULTATI

4.1. Rezultati provedenih testiranja u pogonu varionice

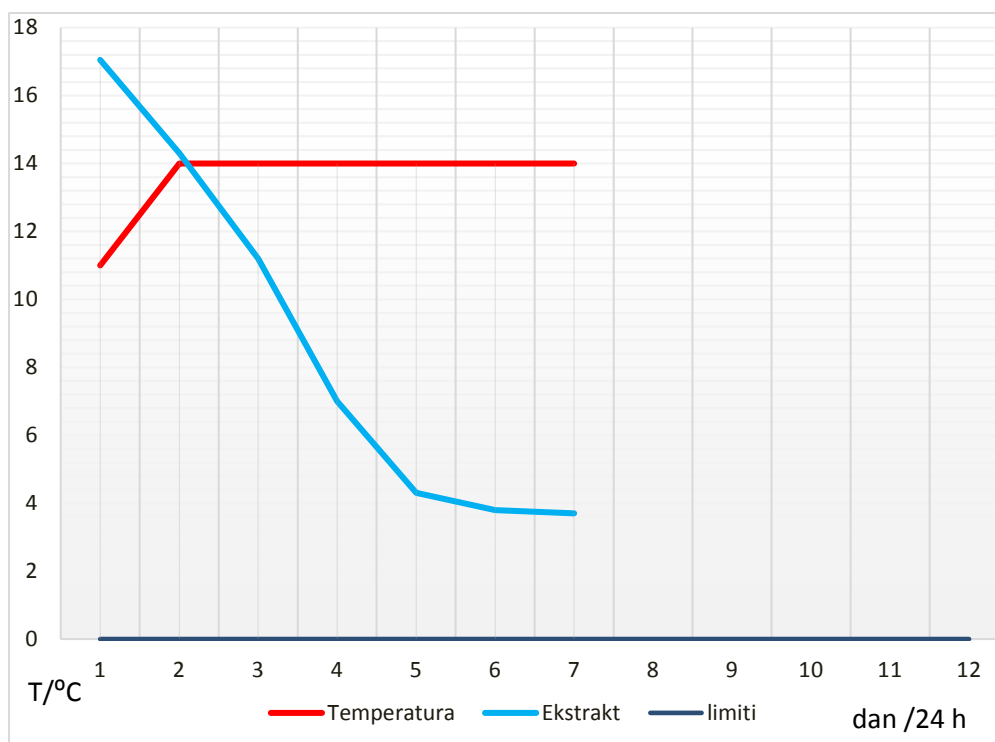
Tablica 6. Protoci naljeva vode pri ispiranju tropa na filteru komine.

	Sirovina A	Sirovina B
Uvarak 1.	300 hl/h	-
Uvarak 2.	297 hl/h	-
Uvarak 3.	286 hl/h	-
Uvarak 4.	294 hl/h	-
Uvarak 5.	-	187 hl/h
Uvarak 6.	-	202 hl/h
Uvarak 7.	-	153 hl/h
Uvarak 8.	-	160 hl/h
Ukupan zbroj protoka hl/h	1177 hl/h	702 hl/h

Tablica 7. Količina i koncentracija sladovine po pojedinim uvarcima

	O.G.	Količina sladovine u hl.
Uvarak 1.	17,0 °P	505 hl
Uvarak 2.	17,1 °P	506 hl
Uvarak 3.	17,0 °P	509 hl
Uvarak 4.	17,0 °P	504 hl
Uvarak 5.	17,0 °P	480 hl
Uvarak 6.	17,1 °P	489 hl
Uvarak 7.	17,1 °P	477 hl
Uvarak 8.	17,0 °P	472 hl
Fermentor A (sirovina A)	17.02 °P	2024 hl
Fermentor B (sirovina B)	17.05 °P	1971 hl

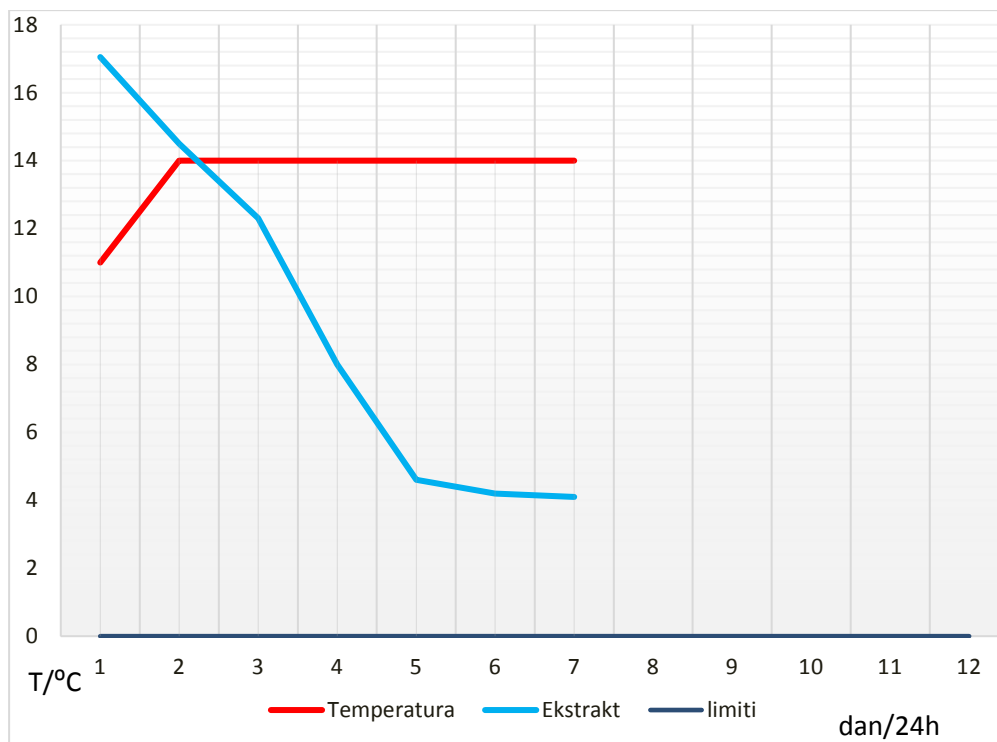
4.2. Rezultati provedenih testiranja u pogonu fermentacije



Slika 8. Brzina fermentacije piva u fermentoru A (sirovina A)

Tablica 8. Brzina fermentacije piva u fermentoru A (sirovina A)

Dan	1	2	3	4	5	6	7
Temperatura	11 °C	14 °C	14,1 °C	14 °C	14 °C	14,1 °C	14 °C
Ekstrakt	17,02 °P	14,3 °P	11,2 °P	7 °P	4,3 °P	3,8 °P	3,7 °P



Slika 9. Brzina fermentacije piva u fermentoru B (sirovina B)

Tablica 9. Brzina fermentacije piva u fermentoru B (sirovina B)

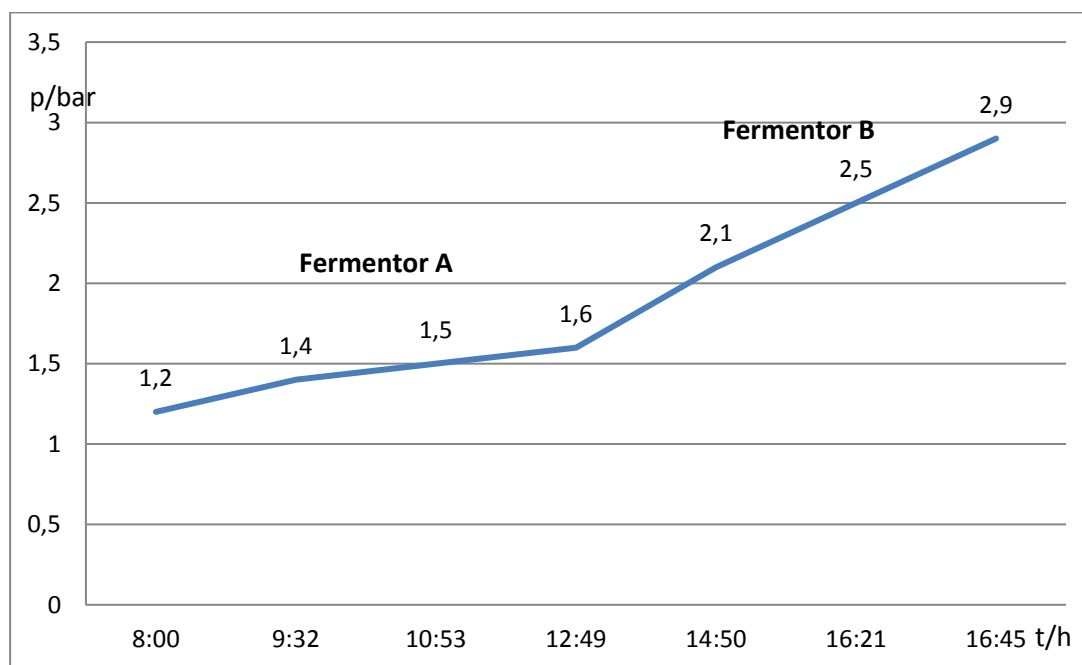
Dan	1	2	3	4	5	6	7
Temperatura	11 °C	14 °C	14 °C	14,1 °C	14,1 °C	14,1 °C	14 °C
Ekstrakt	17,05 °P	14,5 °P	12,3 °P	8 °P	4,6 °P	4,2 °P	4,1 °P

Tablica 10. Tijek opadanja diacetila u fermentorima A i B

Dan	1	2	3	4	5	6	7
Fer. A / ppm	0,150	0,123	0,115	0,096	-	-	-
Fer B. / ppm	0,200	0,185	0,150	0,132	0,121	0,110	0,110

Tablica 11. Količina doziranog kvasca i udio suhe tvari i mrtvih stanica u pojedinim generacijama kvasca

	Generacija kvasca	Suha tvar	Mrtve stanice	dozirana količina kvasca kg
Fer. A	KC-1	54 %	2.7 %	1057 kg
Fer B.	KA-3	50 %	4.2 %	1170 kg



Slika 10. Promjena tlaka na Kieselghur filtru tijekom filtracije piva u fermentorima A i B

Tablica 12. Promjena tlaka na kieselghur filteru tijekom filtracije piva iz Fer. A i Fer. B

Vrijeme / h	0	1:32	2:53	4:49	6:50	8:21	8:45
Tlak / bar	1,2	1,4	1,5	1,6	2,1	2,5	2,9

5. RASPRAVA

Kvaliteta sirovine najviše utječe na vođenje i kontroliranje procesa proizvodnje piva. U ovome eksperimentalnom dijelu prema podacima iz varionice tijekom kuhanja sa dvije različite sirovine, može se vidjeti da je dobro modificiran slad (kvalitetnija sirovina) za razliku od manje kvalitetnije šarže pokazao bolje rezultate tijekom procesa. Eksperimentalni dio ovoga završnog rada započinje u pogonu varionice. Proces započinje mljevenjem slada te ukomljavanjem slada i vode, odvajanjem tropa od sladovine te kuhanjem i taloženjem sladovine prije transfera u pogon fermentacije. Sirovina A (bolje modificiran slad) se pokazala uspješnijom tijekom procesa proizvodnje. U tablici 7. „Količina i koncentracija sladovine po pojedinim uvarcima „ se vidi da su količine dobivene sladovine proizvedene od sirovine A veće od količine sladovine proizvedene od sirovine B (manje modificiran slad). U tablici 6. „Protoci naljeva vode pri ispiranju tropa na filteru komine“ također se vidi da su protoci ispiranja veći kod sirovine A nego kod sirovine B. Ovi navedeni podaci pokazuju kako kvalitetnija sirovina olakšava proces proizvodnje i daje veće iskorištenje iz slada, te kvalitetniju sirovinu za daljni proces u pogonu fermentacije. Fermentacija piva dobivenog iz sirovine A se odvijala puno brže, te je pad ekstrakta bio znatno veći od piva dobivenog od sirovine B što se vidi na slici 8. i tablici 8. Redukcija diacetila u pivu također se odvijala puno brže u pivu dobivenom od sirovine A, što se vidi u tablici 10. te je pivo iz fermentora A ranije pušteno na hlađenje i prebačeno na odležavanje preko centrifugalnog separatora nego pivo iz fermentora B. Tlak na kieselghur filteru tijekom filtracije piva iz fermentora A se održavao niskim (1,2 do 1,6 bar) i nije imao veća odstupanja sve dok nije krenulo pivo iz fermentora B, te je u kratkom vremenu tlak na filteru narasao do 2,9 bar-a što nam pokazuje slika 10. Promjena tlaka na Kieselghur filteru tijekom filtracije piva iz Fer. A i B. Svi ovi podaci ukazuju kako sa kvalitetnom sirovinom i pravilnim vođenjem procesa proizvodnje se može postići bolja filtrabilnost piva, niži troškovi i dobiti kvalitetan proizvod.

6. ZAKLJUČAK

U proizvodnji piva jako je bitno koristiti kvalitetne sirovine. Kvalitetna sirovina uvelike olakšava proces proizvodnje i daje sigurnost za kvalitetu finalnog proizvoda, Prema dobivenim podacima tijekom izvođenja eksperimentalnog dijela predmetnog rada dokazano je da korištenje dobro modificiranog slada i pažljivo vođenje procesa kroz sve faze proizvodnje piva, može puno utjecati na filtraciju piva. Filtracija piva je završni korak proizvodnje, te ukoliko je bilo grešaka i problema u primarnim fazama proizvodnje, to će se najbolje vidjeti na filtraciji piva. Pažljivim biranjem sirovina i stručnim vođenjem procesa proizvodnje piva može se dobiti kvalitetan proizvod koje će zasigurno biti konkurentan na tržištu.

7. LITERATURA

1. Anonymus (2020): Količina kisika u pivu tijekom pojedinih faza proizvodnje, <https://www.brewer-world.com/oxygen-control-in-brewing/>, pristupljeno 21.3.2021.
2. Anonymus (2019): Shematski prikaz procesa proizvodnje piva, <https://www.dreamstime.com/stock-illustration-beer-brewing-process-brewery-factory-production-design-template-preparation-wort-boiling-fermentation-image68373587>, pristupljeno 30.10.2019.
3. Anonymus (2019): Slovenija postala četvrti najveći proizvođač hmelja na svijetu, <https://www.poslovni.hr/svijet/slovenija-postala-cetvrti-najveci-proizvoac-hmelja-na-svijetu-356150>, pristupljeno 30.08.2021.
4. Anonymus (2018): Razlika između izmjene iona i reverzne osmoze, <https://hr.strephonsays.com/ion-exchange-and-reverse-osmosis-12550>, pristupljeno 30.08.2021.
5. Atlas Big (2019): Proizvedena količina hmelja po zemljama, <https://www.atlasbig.com/en-us/countries-hops-production>, pristupljeno 30.07.2019.
6. BAMFORTH, C.W. (2016.): Brewing Materials and Processes, Elsevier Inc., Amsterdam
7. BAMFORTH, C.W. (2004.): Beer: Tap into the Art of Science of Brewing (2. izdanje), Oxford University Press, Oxford.
8. BAMFORTH, C.W., RUSSELL, G., STEWART, A. (2009) Beer: A Quality Perspective - A Volume of the Handbook of Alcoholic Beverages Series (Russell, G., Bamforth, C.W., Stewart, A., ured.), Elsevier, Amsterdam
9. BAMFORTH, C.W. (2004.): Beer: Health and Nutrition, Wiley-Blackwell, Hoboken, New Jersey
10. BOULTON, C., BRIGGS, D., BROOKES, P., STEVENS, R. (2000.): Brewing Science and practice, Woodhead Publishing Limited, Abington.
11. BRIGGS, D. (2008.): Science and Praticce, Woodhead Publishing Limited, Abington.
12. KUNZE, W. (2010.): Tehnology brewing and malting, VLB Berlin, Germany.
13. Narodne novine (2004.): Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće, Zagreb: Narodne novine d.d., 182/2004/3147
14. Staff (2014): World trade in barley malt on upward trend, <https://www.world-grain.com/articles/4075-world-trade-in-barley-malt-on-upward-trend>, pristupljeno 30.08.2021.

8. PRILOZI

8.1. Popis slika

Slika 1. Shematski prikaz procesa proizvodnje piva

Slika 2. Potrošnja vode po načinu i mjestu upotrebe

Slika 3. Vrste filtracije a) površinska filtracija b) dubinska filtracija c) membranska filtracija

Slika 4. Omjer veličina čestica i tlakova ovisno o tipu filtracije

Slika 5. Grubi Kieselghur (povećanje pod mikroskopom 1000x)

Slika 6. Fini Kieselghur (povećanje pod mikroskopom 1000x)

Slika 7. Perlit (povećanje pod mikroskopom 1000x)

Slika 8. Brzina fermentacije fermentora A

Slika 9. Brzina fermentacije fermentora B

Slika 10. Promjena tlaka na Kieselghur filtru tijekom fermentacije fermentora A i B

8.2. Popis tablica

Tablica 1. Proizvedena količina hmelja po zemljama.

Tablica 2. Potrošnja vode u pojedinim dijelovima proizvodnje piva.

Tablica 3. Mikrobiološki parametri zdravstvene ispravnosti vode za piće

Tablica 4. Kemijski pokazatelji ispravnosti vode za piće

Tablica 5. Količina kisika u pivu tijekom pojedinih faza proizvodnje

Tablica 6. Protoci naljeva vode pri ispiranju tropa na filtru komine

Tablica 7. Količina i koncentracija sladovine po pojedinim uvarcima

Tablica 8. Brzina fermentacije fermentora A

Tablica 9. Brzina fermentacije fermentora B

Tablica 10. Tijek opadanja diacetila u fermentorima A i B

Tablica 11. Količina doziranog kvasca i udio suhe tvari i mrtvih stanica u pojedinim generacijama kvasca

Tablica 12. Promjena tlaka na Kieselghur filtru tijekom filtracije piva iz fer. A i B