

High gravity brewing postupak proizvodnje piva i njegova primjena u suvremenoj industrijskoj proizvodnji lager piva

Petrović, Ozren

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

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:128:177003>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-27**



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
Odjel prehrambene tehnologije
Stručni studij prehrambene tehnologije
Usmjerenje: Pivarstvo

Ozren Petrović

**High gravity brewing postupak proizvodnje piva i njegova
primjena u suvremenoj industrijskoj proizvodnji lager piva**

Završni rad

Karlovac, prosinac, 2015. god.

Veleučilište u Karlovcu
Odjel prehrambene tehnologije
Stručni studij prehrambene tehnologije
Usmjerenje: Pivarstvo

Ozren Petrović

**High gravity brewing postupak proizvodnje piva i njegova
primjena u suvremenoj industrijskoj proizvodnji lager piva**

Završni rad

Mentor: Doc.dr.sc. Marijana Blažić
Broj indeksa: 0314612078

Karlovac, prosinac, 2015. god.

Predgovor

Zahvaljujem se mentorici i svim djelatnicima prehrambenog odjela Veleučilišta u Karlovcu na nesebičnoj pomoći i razumijevanju te uloženom trudu kako bi na nas prenijeli svoje znanje i iskustvo kako tokom cijelog višeg obrazovanja na Veleučilištu tako i pri izradi ovog završnog rada.

Velika hvala mojoj obitelji poglavito mojim roditeljima koji su mi stalna potpora i oslonac i koji su me svojom nesebičnom ljubavi tokom cijelog života pomagali i davali podršku da ustrajem na svom životnom putu i svome obrazovanju.

SAŽETAK

Tema ovog rada je *High gravity brewing* postupak proizvodnje piva i njegova primjena u suvremenoj pivarskoj industriji lager piva. To je nova metoda koja se zadnjih godina učestalo primjenjuje u velikim svjetskim pivovarama, kako bi unatoč svojim ograničenim kapacitetima mogle proizvesti više piva uz postojeće skladišne i proizvodne kapacitetne mogućnosti. Kako je to jeftinija varijanta od ulaganja u novu suvremenu opremu kao što su golemi CKF-ovi (cilindrično-konusni fermentori) kako bi se na taj način povećala proizvodnja mogućnošću provođenja fermentacije odnosno odležavanja u dodatnim CKF fermentorima. Sam *High gravity brewing* postupak je složen i sastoji se od više faza kao i klasičan postupak proizvodnje piva, te je kao takav i razmotren u ovome radu. Dat je teorijski pregled *high gravity brewing* postupka kao i eksperimentalni podaci u vidu mjerenja koje operateri svakodnevno provode u pojedinim fazama procesa proizvodnje lager piva navedenim postupkom. Na kraju rada bit će navedena rasprava vezana za dobivene podatke u praksi kao i na kraju iz svega toga izveden zaključak.

Ključne riječi: cilindrično-konusni fermentori (CKF), ekstrakt, high gravity brewing, lager pivo, proizvodnja.

ABSTRACT

Theme of this final graduation work is High gravity brewing method of beer brewing and its apply in modern brewing industry of lager beer producing. It is a new method that mostly applies in last years in the biggest world breweries, how they would inspite of their restricted capacities be able to produce more beer regarding to exsisting warehouse and producing capacity possibilities. How it is cheaper variant than inves,ting in new modern equipment like is huge CCT-s (cilindric-cone tanks) how they would increase producing possibilities of fermentation conducting respectively maturation in additional CCT tanks. High gravity brewing alone is method quite complex with more phases of producing like in clasical beer brewing method, so it is concerned like that in this final graduation work. Teoretical review of high gravity brewing is given, like experimental datas also in sight of mesuring operators in beer brewing every day do in particular phases of lager beer producing by high gravity brewing method. At the end of final graduation work will be quote discussion conncted with got datas in practice, like also a conclusion carried out at the end of all of this.

Key words: cilindric-cone tanks (CCT), extract, high gravity brewing, lager beer, producing.

SADRŽAJ

1.) UVOD.....	7
1. UVOD	8
2.) TEORIJSKI DIO	9
2. SHEMA I OPIS <i>HIGH GRAVITY</i> POSTUPKA PROIZVODNJE PIVA.....	10
2.1.Stanica za pripremu i obradu vode u proizvodnji “ <i>high gravity</i> piva”	10
2.2.Varionica.....	11
2.3.Fermentacija i odležavanje.....	16
2.4.Filtracija i linije punjenja u BBT-e.....	20
2.5.Punjenje filtriranog konzumnog piva u odgovarajuću ambalažu.....	26
3.) EKSPERIMENTALNI DIO	28
3.1.Materijali, sirovine i pomoćne tvari u proizvodnji piva.....	29
3.2.Metode rada.....	31
4.) REZULTATI.....	37
4. REZULTATI	38
5.) RASPRAVA.....	42
5. RASPRAVA	43
6.) ZAKLJUČAK	48
6. ZAKLJUČAK.....	49
7.) LITERATURA	50
7. LITERATURA	51
POPIS TABLICA I SLIKA	53

1. UVOD

1. UVOD

High gravity brewing metoda je metoda dobivanja visoko koncentriranog piva koncentracije prevrelog ekstrakta u pivu 15, 17.5, 18 i 20°P (stupnjeva Plato-a). Takva piva su prejaka s visokim udjelom alkohola u sebi (oko 10% vol/vol) te kao takva nisu pogodna za učestalu konzumaciju od strane kupaca i ljubitelja piva. Pošto takva piva ne mogu na tržište ona se naknadno tijekom filtracije i u uređaju karboblenderu razrjeđuju na standardne vrijednosti od 10-11% za svijetlo lager pivo te 12-13% za tamno lager pivo. Kako takav način proizvodnje štedi vrijeme i novac jer skraćuje vrijeme proizvodnje piva na razdoblje vrenja od svega 5 dana te 2-3 maksimalno 5 dana odležavanja odnosno hladnu maturaciju tj. dozrijevanje mladog piva, takvo pivo već u roku tjedan dana prođe kompletan proces proizvodnje od ukomljavanja do punjenja u ambalažu što uključuje staklene i PET (polietilen tereftalat) boce, limenke (engl. *can*) te metalne bačve od nehrđajućeg čelika tzv. *keg*-ove. Kako se danas ide ka pojeftinjenju sirovina pa tako i troškova proizvodnje piva suvremene industrijske pivovare umjesto čistog slada koriste kao zamjensku neslađenu sirovinu krupicu i to kukuruznu krupicu dok se u Aziji uz ječam odnosno slad za proizvodnju azijskih piva koristi rižin lom. Mnoge suvremene pivovare imaju probleme sa skladišnim kao i proizvodnim kapacitetima te nemogućnošću širenja istih zbog nedostatka prostora. Zbog toga se okreću suvremenoj *High gravity brewing* proizvodnji jer na taj način povećavaju svoju proizvodnju unutar postojećih kapaciteta (od 33 do 50%), a jednako tako imaju značajnu uštedu energije (od 25% i više) jer moraju prepumpavati, zagrijavati, kuhati i hladiti utoliko manje volumene sladovine i *jakog* piva, što im je znatno jeftinija solucija od investiranja u kupnju novih cilindrično-konusnih fermentora (CKF) u kojima bi se odvijalo glavno vrenje i dodatno odležavanje odnosno maturacija mladog piva. Cilj ovog rada je približiti princip i način rada u proizvodnji suvremenog lager piva *High gravity brewing* metodom. Rad će najprije biti teoretski razrađen po pojedinim fazama proizvodnje te potkrijepljen svakodnevnim mjerenjima koje operateri u proizvodnji piva svaki dan provode u modernoj industrijskoj pivovari.

2.) TEORIJSKI DIO

2. SHEMA I OPIS *HIGH GRAVITY* POSTUPKA PROIZVODNJE PIVA

High gravity brewing je postupak dobivanja tzv. *High gravity beer* odnosno piva s visokim udjelom ekstrakta u osnovnoj sladovini od 15, 18 i 20% pri čemu se dobiva pivo s povećanim volumnim udjelom alkohola od 7% vol/vol do 9% vol/vol koje se prilikom filtracije razrjeđuje deaeriranom vodom na pivo standardnih vrijednosti ekstrakta u osnovnoj sladovini i odgovarajućeg volumnog udjela alkohola ovisno o specifikaciji vrste piva koje se želi proizvesti. *High gravity brewing* je danas uvelike zastupljen u velikim industrijskim pivovarama diljem svijeta kao moderna tehnika proizvodnje piva pri čemu se maksimalno iskorištavaju postojeći ograničeni kapaciteti i postiže povećana proizvodnja piva na dnevnoj i godišnjoj razini, jer se na taj način omogućava više kuhanja dnevno *High gravity piva* koje se onda tijekom filtracije razrjeđuje na zadane standardne vrijednosti. Takav postupak proizvodnje je jeftiniji jer kompanija ne mora kupovati velike CKF-ove za fermentaciju i odležavanje kako bi si povećala volumni kapacitet što je često vrlo skupa investicija pa je tvrtki isplativije proizvesti *High gravity* pivo te ga naknadno razrjeđivati i puniti u boce, bačve i limenke. Svako pivo sastoji se od 4 osnovna sastojka koja idu u svako pivo a to su ječmeni slad, omekšana i pročišćena voda, hmelj te pivarski kvasac *Saccharomyces cerevisiae*, a u novije vrijeme sve se više koriste zamjenske neslađene sirovine bogate škrobom, tzv. surogati kao što je kukuruzna krupica jer je jeftinija sirovina od čistog ječmenog slada .

High gravity brewing proizvodnja piva se sastoji od nekoliko faza proizvodnje. Prvu fazu čini priprema dekarbonizirane vode (DK vode) za *High gravity brewing* proizvodnju te dobivanje deaerirane vode koja se koristi za razrjeđivanje koncentriranog piva na zadane standardne vrijednosti.

2.1. *Stanica za pripremu i obradu vode u proizvodnji „High gravity piva“*

Za pripremu vode za proizvodnju *High gravity* piva potrebna je odgovarajuća stanica za obradu vode koja se uglavnom nalazi u sklopu strojarnice unutar pogona za fermentaciju i filtraciju piva odnosno varionice. DK voda se dobiva tretiranjem sirove neobrađene vode iz vodovoda vapnom tj. vapnenim mlijekom kako bi se izvršila dekarbonizacija i iz vode uklonili prisutni karbonati koji vodi daju karbonatnu tvrdoću (KT) koja pridonosi ukupnoj tvrdoći vode (UT). Prilikom dekarbonizacije vapnenim mlijekom ujedno se korigira i pH vode koji se snižava na odgovarajuću vrijednost pogodnu za proizvodnju piva. Osim kemijskog sastava, voda za proizvodnju piva mora biti bakteriološki ispravna, bistra i bez mirisa. Zbog toga se voda za proizvodnju piva dezinficira nekim od postupaka dezinfekcije, a u slučaju potrebe i dodatno filtrira da bi se uklonile mutnoće i sl. Deaerirana voda također se dobiva u stanici za obradu vode koja se dobiva procesom uklanjanja otopljenog kisika iz vode korištenjem reagenasa koji na sebe vežu kisik i talože se na dnu vode u obliku taloga netopljivih oksida. Deaerirana voda koristi se za razrjeđivanje *High gravity* piva na zadane standardne vrijednosti prema protokolu ovisno o specifikaciji danoj za taj brend. Voda se

smatra dovoljno deaeriranom kada je koncentracija O₂ u njoj pala na 10ppb što znači da je zanemarivo mala i da prisutna zaostala količina kisika neće nepovoljno djelovati na sastojke piva tako što će ih oksidirati i na taj način umanjiti kvalitetu piva. Prije puštanja DK i deaerirane vode iz stanice za obradu vode ispituju se njihova kemijska i mikrobiološka ispravnost od strane kontrole kvalitete koju obavlja osoblje iz kemijskog i mikrobiološkog laboratorija. Samo ispravna i zadovoljavajuće čista voda se smije koristiti za proizvodnju piva i putem linije za dovod DK vode i linija za dovod deaerirane vode (DAV) koristiti za ukomljavanje i za razrjeđivanje piva kao i protjerivanje piva vodom kod filtracije. Tako obrađene vode koriste se i za punjenje CIP sustava za pranje vodom te ispiranje linija u pogonima proizvodnje piva.

Tablica 1. Karakteristike vode za različite tipove piva

	Plzenski tip	Münchenski tip	Dortmundski tip
UT (°nj)	1,6	14,8	41,3
KT (°nj)	1,3	14,2	16,8
NT (°nj)	0,3	0,6	24,5
CaT (°nj)	1,0	10,6	36,7
MgT (°nj)	0,5	4,2	5,3
Sulfati (mg/L)	3	8	240
Kloridi (mg/L)	5	2	100

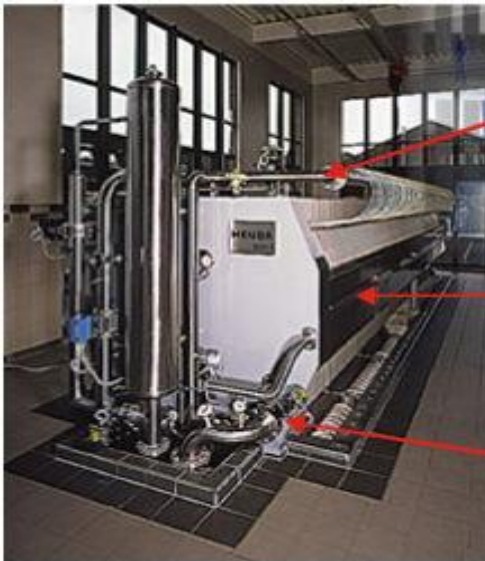
[Izvor podataka: Mijatović, I., Matošić, M., Tehnologija vode (interna skripta), Prehrambeno-biotehnoški fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, dopunjeno izdanje 2010., str. 165.]

2.2. *Varionica*

Drugu fazu u proizvodnji *High gravity* piva čine ukomljavanje i kuhanje sladovine. Taj dio proizvodnje se odvija u varionici koja čini topli blok ili toplu zonu pogona za proizvodnju piva u sklopu pivovare. Ukomljavanje počinje dodatkom usipka u glavni naljev zagrijan na temperaturu oko 45°C u kotlu za ukomljavanje. Kako suvremene pivovare koriste krupicu i slad a za neke brendove koristi se samo slad a u neke se dodaje i neslađeni ječam onda se primjenjuje način kuhanja koji se zove infuzijsko ukomljavanje s dvije komine. Ono se koristi jer se posebno ukomljava krupica a posebno slad da bi se nakon kuhanja krupice na 101°C komine objedinile i počeo postupak daljnjeg ukomljavanja s jednom objedinjenom kominom. Koristi se infuzijski postupak jer je ekonomičniji s obzirom da se njime troši manje energije što pojeftinjuje proizvodnju.

Dolazne sirovine (slad, krupicu i ječam) prilikom ulaska u krug pivovare pregledavaju ljudi iz laboratorija u sklopu kontrole kvalitete. Nakon njihove dojava rezultata analize odgovorni kuhar daje dozvolu cisterni da se uparkira na mjesto za pražnjenje slada odnosno krupice i ječma iz cisterne, u silose za njihov prihvat. Prebacivanje se odvija putem cijevi za njihov transport u silose pomoću niza pumpi. Nakon potpunog pražnjenja cisterne ona se odvaja od cijevi i oslobađa mjesto sljedećoj. Sve te radnje odobrava odgovorni kuhar. Kada su svi silosi napunjeni ulaznim sirovinama iz određenog silosa preko niza pužnih transporterera i elevatora slad odnosno ječam putuju u ćelije rezervi 1 i 2 i od tamo se usipavaju u mlin čekićar gdje se grubom ili finom meljavom usitnjavaju u sladnu i ječmenu prekrupu. Iz njega se pužnim transporterima te eventualno elevatorima dovode u dozirne vage gdje se mjeri masa dodanog usipka jer se s tih vaga slad preko tzv. gaća odnosno usipnih vreća (koševa) preko pužnih transporterera ubacuje u kotlove za ukomljavanje slada 1 i 2. Krupica se ukomljava u zasebnom kotlu komine u kojeg dolazi iz silosa za krupicu preko pužnih transporterera do dozirne vage za krupicu i usipnog koša odakle se pužnim transporterom ubacuje u kotao komine.

Ukomljavanje traje najviše dva sata. Najprije se ukomljava krupica postepenim dizanjem temperature od početnih 40-42°C do 100-101°C na kojoj se odvija kuhanje krupice. Za to vrijeme sladna prekrupa se nalazi na dijastatskoj pauzi na oko 42-45°C. Dijastatska pauza traje različito za različite vrste piva ovisno o njihovoj recepturi što je propisano specifikacijom dotičnog brenda. Nakon objedinjavanja komine slijede zagrijavanja na temperature ošećerenja s kraćim stankama na svakoj od njih. Tako najprije dolazi do stanke ošećerenja na dijastatskoj temperaturi nakon objedinjavanja komine na oko 50°C, nakon toga slijedi zagrijavanje na prvu temperaturu ošećerenja između 60°C i 65°C uz određeno vrijeme zadržavanja. Slijedi zagrijavanje na drugu temperaturu ošećerenja oko 72°C na kojoj se komina zadržava kraće vrijeme. Temperatura se zatim diže na 78°C na kojoj se jedno vrijeme zadržava radi potpunog ošećerenja komine. Nakon toga se temperatura komine podiže na 100°C i na toj se temperaturi, kroz određeno vrijeme, vrši kuhanje komine. Tako dobivena prevrela komina ide na cijedenje u Meura filter za cijedenje i izdvajanje tropa. Prije pojave suvremenih filtera, koristile su se kade za cijedenje.



1 Ulaz komine

2 Filtar preša sastavljena od više desetaka ploča na čijim se membranama odvija cijedenje komine i odvajanje sladovine od pivskog tropa

3 Izlaz procijeđene sladovine prema međuspremniku filtra

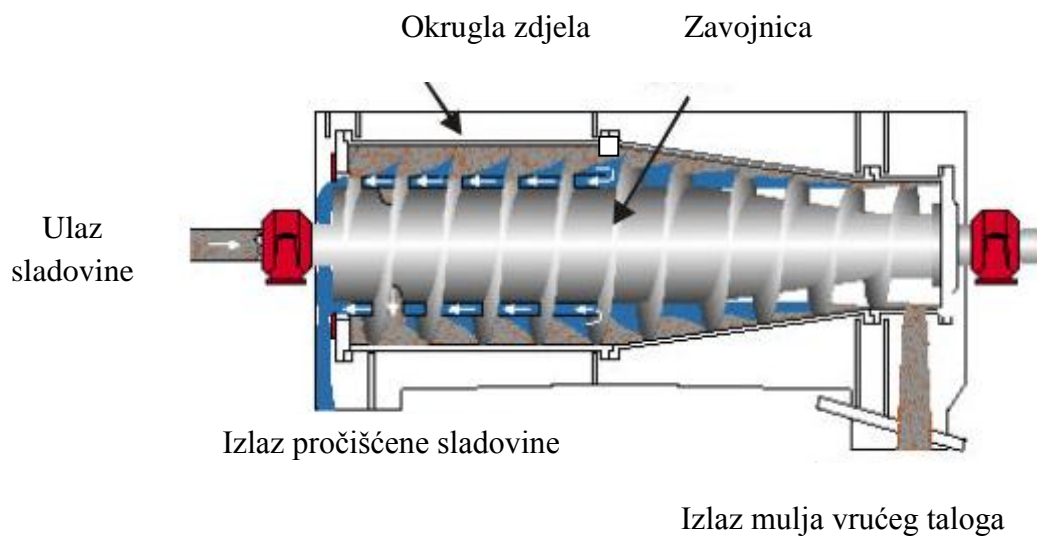
Slika 1. Moderni Meura 2001 filtar za cijedenje komine i odvajanja sladovine od tropa

[Izvor:

http://www.daltraining.eu/WebHelp/Heinekenbrewing2009.htm#002_Sweet_wort_production/2.4.5_Mash_Filter.htm, pristupljeno 19.4.2015.]

U Meura filtru komina se filtrira tako da se iz nje izdvaja tekući dio komine sladovina koja prolazi kroz filtar i odvodi se u međuspremnik filtra baždarenog na 50% volumena koji kad se dostigne prebacuje sladovinu u kotao međuspremnik koji je zapravo tzv. peta posuda koja služi u velikim pivovarama kao dodatni kotao za sladovinu u kojem se sladovina drži dok prethodno kuhanje sladovine u kotlu sladovine još uvijek traje. Na taj način se povećava broj kuhanja uvaraka po danu jer se prebacivanjem sladovine u međuspremnik oslobađa kotao za ukomljavanje za sljedeće kuhanje uvaraka u kojem bi sladovina kao i na filtru za cijedenje komine zaostala kada tog međuspremnik ne bi bilo a u kotlu za kuhanje sladovine se odvija kuhanje prethodnog uvaraka. Tako procijeđena sladovina naziva se prvijenac. Na Meura filtru zaostaje kruti dio komine tzv. pivski trop koji zaostaje na membranama filtra. Kako na njemu zaostane i nešto sladovine da bi bilo što veće iskorištenje ekstrakta provodi se ispiranje tropa pomoću naljeva. To su naknadni naljevi DK vode koji služe za izdvajanje zaostalog ekstrakta s tropa na kojem je on zaostao tijekom filtracije i cijedenja komine. U pravilu se u proizvodnji piva koristi do najviše tri naljeva za ispiranje tropa jer svaka veća količina previše razrjeđuje osnovnu sladovinu. Količina vode u pojedinom naljevu određena je recepturom i propisima na osnovi standarda i specifikacije koju po potrebi mijenjaju i reguliraju odgovorni kuhari. Zaostali iscijeđeni sabiti trop se izbacuje iz Meura filtra u korito za prihvatanje suhog tropa te se pužnim transporterom transportira u spremnik za pivski trop (trop tank) odakle se isporučuje otkupljivačima za stočnu hranu.

Procijeđena sladovina se iz međuspremnika dovodi u kotao sladovine u kojoj se odvija kuhanje i hmeljenje sladovine uz stalnu aeraciju. Kuhanje traje oko 1 sat na temperaturi 101,4°C. Sladovina se, kao i hmelj koji se u nju dodaje, preko CENTEC uređaja za aeraciju aeriraju zrakom kako bi se sladovina zasitila otopljenim kisikom, koji je potreban za rast i razvoj stanica kvasca kojim se naciepljuje sladovina koja se dovodi u fermentore. Hmelj se nabavlja u vrećama i dolazi u obliku peleta. Hmelj najprije ide u uređaj za rahljenje gdje se miješa mješačem kako bi se dobila rahla homogena smjesa. Nakon toga hmelj ide u dozatore za hmelj odakle se dozira potrebna količina hmelja. Prvo se dodaje gorka sorta hmelja koja se dodaje 1 min nakon početka kuhanja kako bi se iz hmelja ekstrahirale α -kiseline koje se zatim izomeriziraju tijekom kuhanja u izo- α -kiseline koje su odgovorne za gorčinu i gorkast okus piva. Da bi se oslobodile i izomerizirale α -kiseline potrebno je duže vrijeme pa ukoliko se želi dobiti veće iskorištenje α -kiselina dodaju se već na samome početku kuhanja. 10 do 15 min prije kraja kuhanja se dodaje aromatična sorta kako bi pivo dobilo karakterističnu aromu na hmelj. Aromatične sorte su bogate lupulinom koji uz nešto α -kiselina sadrži i eterična ulja i estere kao i druge tvari odgovorne za aromu hmelja. Kako su te tvari vrlo hlapljive, važno je da se kuhaju što kraće u vreloj sladovini. Kuhanje sladovine je bitno jer se time vrši sterilizacija sladovine i iz sladovine uklanjaju nepoželjni mikroorganizmi termičkom razgradnjom. Tome dodatno pridonosi i hmelj koji je odgovoran za aseptičnost sladovine odnosno piva zbog svojih aseptičnih svojstava gdje neke njegove tvari kao što su α - i β -kiseline inhibiraju rast većine mikroorganizama i na taj način umanjuju mogućnost kontaminacije piva njima. Sladovina se zakiseljava tijekom kuhanja kako bi se dobio idealan pH na osnovu rezultata dobivenih mjerenjem pH komine nakon ukomljavanja pH metrom uz istovremeno mjerenje gradacije odnosno stupnja ošećerenja saharimetrom. Od organskih kiselina, u većini pivovara, za zakiseljavanje se koristi mliječna kiselina, jer je najmanje štetna s obzirom na to da je lako razgradljiva a sastoji se od ugljika, vodika i kisika koji su prirodni organski sastojci piva. Od anorganskih kiselina najviše se upotrebljava fosfatna kiselina (H_3PO_4) koja je slaba kiselina i relativno lako razgradljiva i ne daje nikakve negativne nusprodukte razgradnje. Kao idealan pH sladovine se uzima 5.4-5.8. Kuhana sladovina se iz kotla sladovine odvodi u dekanter ili vrtložni taložnjak tzv. *whirlpool* ovisno o tehnologiji kojom pivovara raspolaže.



Slika 2. Shema principa rada dekanter centrifuge

[Izvor:

http://www.daltraining.eu/WebHelp/004_Wort_clarification_cooling_and_oxygenation/4.1.6_Breweries_using_hop_pellets_or_extracts.htm#Hot_Wort_Centrifuge, pristupljeno 19.4.2015.]

U dekanteru se slatkovina dekantira odnosno iz slatkovine se izdvaja tzv. vrući talog. Vrući talog se sastoji od nakupina proteina i tanina kao i dijelova hmelja koji se stajanjem slatkovine u dekanteru izdvajaju iz vruće slatkovine i talože na dno dekantera. Dekantiranje se prati po zonama. Postoje tri zone: gornja, srednja i donja zona. Svaka se izdvaja zasebno. Najprije se izdvaja gornja, zatim srednja i na kraju donja zona koje se zatim šalju na hlađenje u hladni blok u sklopu fermentacijskog i filtracijskog dijela pogona pivovare. Vrući talog se nakon izdvajanja iz svih zona vruće slatkovine odvodi u spremnik vrućeg taloga, odakle se prebacuje u korito za prihvat tropa i dozira odnosno miješa s pivskim tropom i koristi kao stočna hrana. Svi dijelovi varionice počevši od silosa do dekantera i napuštanja slatkovine iz nje pokriveni su sondama koje reguliraju razinu komine i slatkovine u njima. Cijevi linija transporta kao i pužni transporter također su pokriveni sondama proporcionalno-integralno-diferencijalnih regulatora (PID regulatori). Sustav je u potpunosti automatiziran i vodi se pomoću programskog sučelja za automatsko mjerenje i vođenje procesa iz kontrolne sobe gdje se preko šest monitora prate svi dijelovi varionice. Izuzev doziranja hmelja i potrebnih enzima kod piva koja se proizvode od slada i krupice radi manjih troškova proizvodnje te pšenice koja ne sadrži enzime potrebne za proizvodnju piva a koji su sadržani u samom ječmenom sladu, te uzimanju uzoraka nakon ukomljavanja, na filtru prije i poslije kuhanja slatkovine u kotlu slatkovine sve se radnje odvijaju automatski ili se po potrebi prebacuju ručno što operateri u varionici ovisno o situaciji rade iz kontrolne sobe. Tijekom automatskog vođenja procesa mjere se parametri kao što su volumni protok, temperatura, tlak, postotak snage kod rada pumpi i elevatora, postotak razine otvorenosti ventila te masa upotrijebljenih sirovina i

volumeni utrošene vode, volumen komine dobiven kod ukomljavanja te volumen dobivene sladovine prilikom kuhanja i hmeljenja kao i masa nastalog tropa.

Cjelokupna linija pogona varionice opremljena je CIP sustavom za pranje koji se sastoji od središnjeg dijela s rezervoarom vruće odnosno hladne vode za CIP pranje te spremnicima kiseline i lužine s inkorporiranim dezinficijensom. Sustav je razdijeljen u više manjih jedinica pa tako postoje CIP kotla sladovine, CIP kotlova za ukomljavanje 1 i 2, CIP Meura filtra, CIP kotla za ukomljavanje krupice, CIP međuspremnik, CIP dekantera kao CIP linija preko kojih se peru određene linije za protok komine odnosno sladovine. Većina CIP vode se skuplja odnosno vraća natrag u CIP stanicu te se koristi za daljnja pranja i ispiranja linije. Kiseline i lužine koje se koriste za hladno ili vruće pranje i dezinfekciju, pošto većina komercijalnih industrijskih sredstava u sebi ima uz kiselinu i lužinu u svom sastavu ugrađen i dezinficijens, također se prikupljaju osobito kad je riječ o jačim i koncentriranijim kiselinama i lužinama, te se regeneriraju za daljnju upotrebu pri sljedećim pranjima. Lužine i kiseline koje nisu za daljnju upotrebu ako je riječ o slabim i razrijeđenim kiselinama se uglavnom ispuštaju u kanal a jače i koncentriranije kiseline i lužine se prikupljaju u tankove za otpadnu lužinu odnosno kiselinu te odvoze u cisternama za odvoz opasnih kemikalija na odlagališta opasnog otpada gdje se adekvatno zbrinjavaju. Osim njih u varionici se nalazi i tank slabe sladovine koja se u njemu čuva i prikuplja putem linije slabe sladovine kako bi se kasnije upotrijebila za potrebe sljedećih uvaraka kod kojih je došlo do slabog ošćerenja zbog lošijeg iskorištenja ekstrakta te se kod kuhanja sladovine kao i kod ukomljavanja ona pridodaje da bi se povećao stupanj ošćerenja.

2.3. Fermentacija i odležavanje

Treća faza u proizvodnji *High gravity* piva odvija se u hladnom bloku odnosno hladnoj zoni pogona pivovare u kojem se odvijaju fermentacija i dozrijevanje odnosno odležavanje piva. Postoji nekoliko načina provođenja fermentacije i maturacije piva kao što su hladno vrenje-toplo doviranje, toplo vrenje-hladno doviranje, hladno vrenje-hladno doviranje, toplo vrenje-toplo doviranje kao i vrenje pod povišenim tlakom. U velikim industrijskim pivovarama se uglavnom koristi princip toplog vrenja (fermentacije) i hladnog doviranja odnosno maturacije. Sladovina nakon dekantiranja u dekanteru i izdvajanja vrućeg taloga ili u *whirlpoolu* ovisno o tehnološkoj izvedbi varionice dolazi u zonu hlađenja u fermentacijskom dijelu pogona pivovare. Hlađenje se provodi pomoću izmjenjivača topline koji se sastoji od sustava cijevi hlađenih rashladnim sredstvom kao što je tekući glikol koji se danas najčešće koristi uz upotrebu tekućeg amonijaka (NH_3) u starijim pogonima. Tako ohlađena sladovina se hladi na temperaturu konusa CKF-a. Kod toplog vrenja temperature konusa pa tako i ohlađene sladovine se snižavaju na temperaturu od oko 8°C. CKF su fermentori velikih vertikalnih dimenzija i često su najviše točke pivovara barem kada je riječ o velikim industrijskim pivovarama. Donji dio ima oblik konusa dok je ostatak fermentora cilindričan. Obično su velikih volumnih kapaciteta od 3500 do 5000hL. CKF-i su podijeljeni u više grupa. Najveći dio se koristi za fermentaciju i provođenje glavnog tzv. burnog vrenja a preostali se koriste za

maturaciju odnosno dozrijevanje piva. U pivovarama s npr. 15 CKF 10 njih se koristi za fermentaciju a ostalih 5 za dozrijevanje odnosno odležavanje piva. Uz njih se u pivovarama često mogu naći i CKF-i za proizvodnju kvasca kojim se nacjepljuju konusi CKF za odvijanje fermentacije.



Slika 3. Cilindrično-konusni fermentori (CKF)

[Izvor:

www.daltraining.eu/WebHelp/Heinekenbrewing2009.htm#006_Fermentation_practice/6.1.2.Fermenters.htm, pristupljeno 19.4.2015.]

Proizvodnja kvasca je važan i sastavni dio proizvodnje piva. Kreće se dobivanjem jedne stanice kvasca *Saccharomyces cerevisiae* u laboratoriju te daljnjim razvojem čiste kulture nacjepljivanjem kvasca na kosi agar kako bi se umnožio i kako bi porasle prve kolonije na hranjivoj podlozi. Nakon toga kvasac se nacjepljuje s 20mL sladovine kroz 48h zatim se nacjepljuje u Erlenmeyerove tikvice većih volumena u omjeru 1:10 odnosno 1:5 sve do volumena od 5L. Kada se kvasac umnoži na taj volumen prebacuje se tzv. Carlsbergovu posudu koja služi za prijenos kvasca iz laboratorija i laboratorijskih uvjeta proizvodnje u pogon i pogonske uvjete. To je posebno oblikovana posuda, hermetički zatvorena, koja ima ugrađen sustav aeracije preko ugrađene cjevčice za aeraciju te ugrađenu ručku za jednostavno prenošenje. Naime, za kvasac je u svim fazama razvoja do samog nacjepljivanja u CKF prije same fermentacije bitna kontinuirana aeracija sterilnim zrakom jer je kvasac aerobni mikroorganizam i za svoj rast i razvoj treba kisik. Prilikom prebacivanja kvasca iz Carlsbergove posude u propagator deseterostruko većeg volumena od volumena kvasca u Carlsbergovoj posudi tzv. biopropagator mora se paziti da ne dođe do kontaminacije čiste kulture kvasca mikroorganizmima iz zraka. Svo vrijeme umnožavanja kvasca u propagatorima kvasac se priprema za fermentaciju i pogonske uvjete proizvodnje što znači da mu se postepeno snižava temperatura umnožavanja na temperaturu sladovine te stvaraju uvjeti

kakvi vladaju u sladovini, kao što su povećana koncentracija fermentabilnih šećera te osmotski tlak kao i vanjski tlak same okoline, uz kontinuiranu aeraciju sterilnim zrakom. Kvasac se propagatorima umnožava do volumena od 50hL a zatim se prebacuje u tank za proizvodnju kvasca iste izvedbe kao i CCT (engl. *Cilindric Cone Tank*→CKF). Obično su to tankovi volumena oko 600hL. Kada je kvasac dovoljno umnožen, u industrijskoj proizvodnji piva je to obično do 500hL, daljnja proizvodnja kvasca se zaustavlja i kvasac se linijom za dovod kvasca iz tanka za proizvodnju kvasca prebacuje u konuse CCT fermentora glavnog vrenja gdje se njima naciepljuje ohlađena sladovina. Tijekom cjelokupnog uzgoja i proizvodnje kvasca se provodi sustavna kontrola mikrobiološke čistoće i kvalitete kvasca kao što su brzina razmnožavanja, brzina sustavnog i potpunog previranja sladovine, omjer živih i mrtvih stanica kvasca koji mora biti minimalno 95% živih da bi se kvasac mogao upotrebljavati u industrijskoj proizvodnji piva. U pivarskoj industriji se jedna čista kultura proizvedenog kvasca koristi do 5. generacije što znači da izvorni kvasac proizveden u laboratoriju i kasnije višestruko umnožen u pogonu koji se još zove i kvasac nulte generacije može sladovinu previrati najviše pet puta. U praksi se pokazalo da je do tada uzgojeni kvasac još uvijek zdrav i u naponu snage što znači da stanice još uvijek imaju velik potencijal da brzo i u potpunosti previru sladovinu, imaju relativno visoku brzinu rasta i razvoja i umnožavanja te im je postotak živih stanica i dalje visok. Fermentacija piva koja se još zove i glavno vrenje ili burno vrenje skraćena je nekoliko dana. Tijekom fermentacije se mjeri temperatura unutar CCT-a te se kontrolira tlak unutar fermentora. Kod vođenja toplog vrenja temperatura se od početnih 8°C diže zbog nastale topline koja se oslobađa tijekom fermentacije kao jedan od nusprodukta alkoholne fermentacije. Kvasac previre fermentabilne šećere glukozu, fruktozu, maltozu, manozu i melibiozu kao i disaharid saharozu i trisaharid maltotriozu alkoholnom fermentacijom u etanol, ugljikov dioksid i toplinu jer je razgradnja fermentabilnih šećera do alkohola etanola egzoterman proces ($\Delta H < 0$) što znači da se nastala toplina oslobađa u okolinu što dovodi do povećanja temperature fermentacije.

Alkoholna fermentacija se odvija prema reakciji: $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + \text{toplinska energija oko } 1516\text{kJ po molu glukoze. [Izvor: Marić V., Tehnologija piva, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2009.]}$

Kod toplog vrenja temperatura postepeno raste i kad dosegne 20°C uključuje se rashladni uređaj s tekućim glikolom kao rashladnim sredstvom te se temperatura snižava na optimalnih 12-13°C. Kako prilikom vrenja nastaje i CO₂ obavezno se mora kontrolirati i tlak. Obično se CCT-ima održava tlak od 1.5bar do najviše 2bar nakon čega se otvaraju sigurnosni nepovratni ventili za regulaciju tlaka u fermentoru koji višak CO₂ odvođe u stanicu za prikupljanje nastalog CO₂ koji se u industrijskim pivovarama nalazi u sklopu strojarne. Prikupljeni CO₂ se pročišćava do čistoće od 99.99% te se koristi za dodatnu karbonizaciju konzumnog prevrelog piva kao i za potiskivanje zraka iz linije kod punjenja piva u tzv. „buffer tankove“ na liniji punjača te prilikom samog punjenja u ambalažu preko automatskih punilica u samome punjaču gdje se CO₂ osim za dodatnu karbonizaciju koristi za stvaranje inertne atmosfere CO₂ koji pošto je teži od zraka istjeruje zrak iz linije odnosno posuda kao i same ambalaže prije samog punjenja piva u nju. Kako je proizvodnja piva strogo zatvoren proces nakon što kuhana i ohlađena sladovina dolazi na fermentaciju u CKF gdje se naciepljuje

kvascem prisutnost zraka točnije kisika iz zraka je nepoželjna jer oksidira sastojke sladovine utječući bitno na njezinu kvalitetu a kod fermentacije onemogućuje alkoholno vrenje koje je striktno anaeroban proces. Kako je zrak nepoželjan u linijama proizvodnje piva u fazama proizvodnje počevši od fermentacije do punjenja gotovog proizvoda u ambalažu za protjerivanje piva tzv. drukanje koristi se čisti CO₂ ili deaerirana voda. Nakon fermentacije se dobiva mlado pivo ili tzv. zeleno pivo koje još nije spremno za konzumiranje već treba neko vrijeme dozrijevat i odnosno odležavati kako bi preostali neprevreli ekstrakt kao i zaostali kvasac u mladome pivu mogli provesti doviranje piva te kako bi se stabilizirali ostali sastojci kao što su ostaci dekstrina i pektina koje kvasac ne može previrati, a tu su još i ostali produkti kvašćeva metabolizma kao što su viši alkoholi, polifenoli, vicinalni diketoni (diacetil i acetoin) te dimetil sulfid (DMS). Viši alkoholi kao i vicinalni diketoni odgovorni su za okus i aromu piva uz hmelj te se njihova prisutnost tijekom fermentacije redovito kontrolira kao i prisutnost DMS-a koji se stvara tijekom fermentacije ali ga kvasac brzo i razgrađuje trošeći ga kasnije u narednim procesima metabolizma osobito za vrijeme maturacije ili sazrijevanja što je osobito važno jer DMS daje pivu sumporni okus te neugodan miris na pokvarena jaja stoga je u pivu nepoželjan.

Zbog tih razloga pivo mora na odležavanje gdje tijekom doviranja dolazi do stabilizacije i uravnoteženja njegovih glavnih komponenti koje pivu daju boju, okus, miris odnosno aromu te gorčinu kao i stabilnost pjene čija je konzistentnost kao tekućeg dijela vrlo bitna. Odležavanje traje oko 8 dana a po potrebi i duže. U pravilu poželjnije je da pivo odležava što duže kako bi bilo kvalitetnije međutim potrebe tržišta i masovna industrijska proizvodnja tjeraju velike pivovare na maksimalno skraćivanje odležavanja na svega četiri do pet dana radi ograničenih kapaciteta čime se gubi na kvaliteti piva pa tako i onog proizvedenog *High gravity brewingom*. Tijekom cjelokupne fermentacije i maturacije koja se provodi na niskim temperaturama (hladna maturacija) u većini slučajeva kod industrijske proizvodnje *High gravity brewingom* temperatura u CKF-u za odležavanje je oko -1.5°C kako bi se ubrzalo taloženje zaostalog kvasca nakon separatora te ostataka proteina i tanina koji čine tzv. „deku“. Temperaturnom razlikom kvasci zaostali u pivu se inhibiraju, smanjuje im se fiziološka funkcionalnost i sposobnost rasta i razmnožavanja te postaju inaktivni te se lakše talože na dnu konusa fermentora koji se koristi za odležavanje. Kontrola procesa kao i u drugim pogonima proizvodnje vodi se automatski putem radnog sučelja gdje se preko 6 monitora prati proces same fermentacije i odležavanja. Kako su fermentacija i odležavanje kao i proizvodnja odnosno umnožavanje kvasca najkritičniji dio proizvodnje piva gdje dolazi do primarnih kontaminacija u proizvodnji piva kao i kemijskih promjena zbog neadekvatnog vođenja fermentacije i odležavanja kontrola kvalitete je vrlo bitna na svakom koraku. Svakodnevno se vode kemijske i mikrobiološke analize i određuju parametri proizvodnje kako bi se na vrijeme stopirala proizvodnja i izvršile korektivne mjere koliko je to moguće. Osim mjerenja temperature i tlaka putem sonde od strane operatera, najviše se mjeri koncentracija DMS-a i vicinalnih diketona.

Kvasac koji se razvio tijekom proizvodnje kvasca kao i dodatno umnoženi kvasac tijekom fermentacije se odvajaju tijekom prebacivanja mladog piva na odležavanje u centrifugalnom separatoru tzv. centrifugi gdje se kvasac separira na rotirajućim bubnjevima koji se vrte

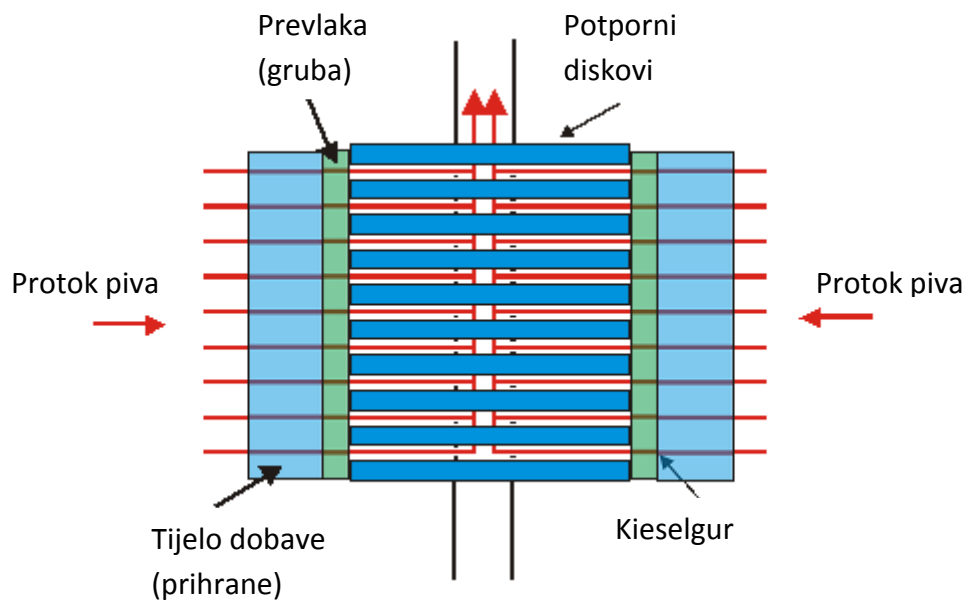
velikom brzinom pomoću centrifugalne sile. Tako izdvojeni kvasac ukoliko je 1., 2., 3. ili 4. generacije odlazi linijom za obnavljanje kvasca u tankove za obnavljanje kvasca tzv. TOK-ove gdje se kvasac regenerira pod slojem vode ili mladog piva do sljedećeg naciepljivanja u CKF. Kvasac 5. generacije odlazi nakon separatora u spremnik za otpadni kvasac te se prodaje na tržištu zainteresiranom otkupljivaču s kojim pivovara redovito posluje u protivnom se kvasac ispušta u kanal.

Sve linije CKF-a kao i linije TOK-ova i propagacije odnosno proizvodnje kvasca imaju ugrađen sustav CIP pranja koji dolazi iz središnjeg CIP sustava u sklopu fermentacijskog dijela pogona gdje se nalaze spremnici kiseline i lužine te dezinficijensa ukoliko nije inkorporiran u prethodna dva sredstva te rezervoar deaerirane vode koja se koristi za CIP pranje. Svaka od linija ima zasebnu CIP jedinicu pri čemu se za ispiranje linija koristi kiselina za hladno pranje i lužina za vruće pranje dok se same posude (CKF-i, TOK-ovi, propagatori, rezervoari za proizvodnju aroma piva, separator) peru samo hladnim pranjem kiselinom jer vruće pranje lužinom nepovoljno djeluje na unutrašnjost stijenki posuda. Kao sredstva za pranje se koriste dušična kiselina (HNO_3) te natrijeva lužina (NaOH).

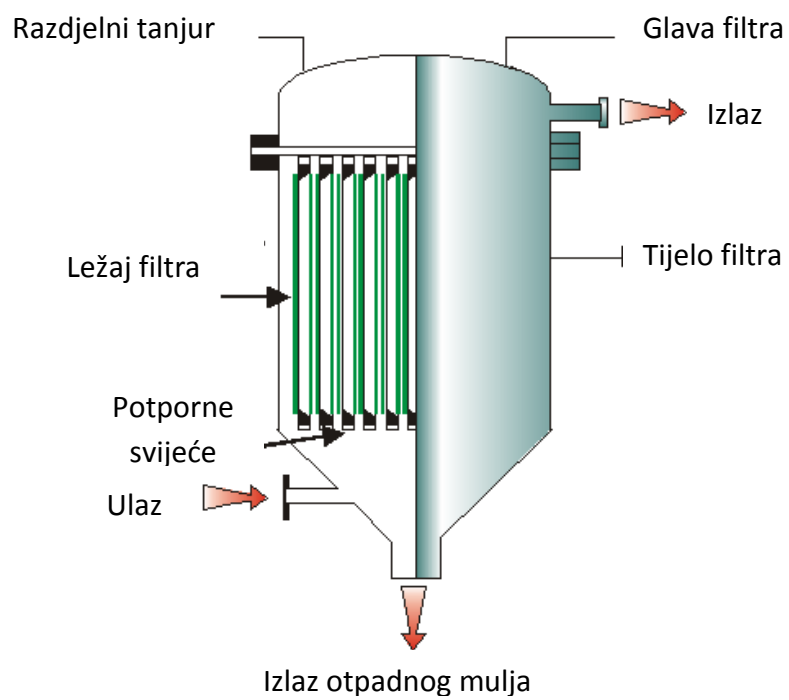
2.4. Filtracija i linije punjenja u BBT-e

Nakon fermentacije i odležavanja pivo se linijama filtra prebacuje na filtraciju. Pogon filtracije je smješten uz pogon fermentacije i odležavanja u istoj zgradi a može se nalaziti u istoj razini s fermentacijskim dijelom ili iznad njega. Filtracija piva je bitna jer je pivo dobiveno nakon fermentacije i odležavanja mutno i neprivlačnog izgleda a i kratkotrajnije jer sadrži ostatke proteinskog i taninskog podrijetla iz pivske „deke“ kao i zaostale stanice kvasca koje se mogu u povoljnim uvjetima ponovo aktivirati i dovesti do naknadne fermentacije piva koja je u proizvodnji klasičnih piva kakve proizvodi većina industrijskih pivovara nepoželjna. Sekundarna fermentacija je poželjna kod proizvodnje specijalnih piva no ona su u Hrvatskoj manje zastupljena i rijetko se proizvode. Nefiltrirano pivo je punijeg okusa nego što je pivo koje je prošlo proces filtracije ali je stoga i kvarljivije i kraćeg roka trajnosti. Pivo koje dolazi s fermentacije i odležavanja putuje linijom filtracije najprije u „*buffer tank* 1“. Buffer tankovi su dodatni tankovi koji se ubacuju u linije kao što je linija filtra i linija punjača u sklopu punionice kako bi spriječili udare na filtre odnosno punjače zbog jakog potiska piva kroz linije što se očituje velikom brzinom volumnog protoka i velikog tlaka koji pri tome na filterima i punjačima nastaje. Stoga takvi tankovi služe kao odbojnici svojevrsne „tampon“ zone u kojima se pivo umiruje i stabilizira te se pritom stabilizira i umanjuje razlika tlaka na ulasku u filtre i punjače.

a) princip djelovanja



b) izgled KG filtra



c) izgled svijeće



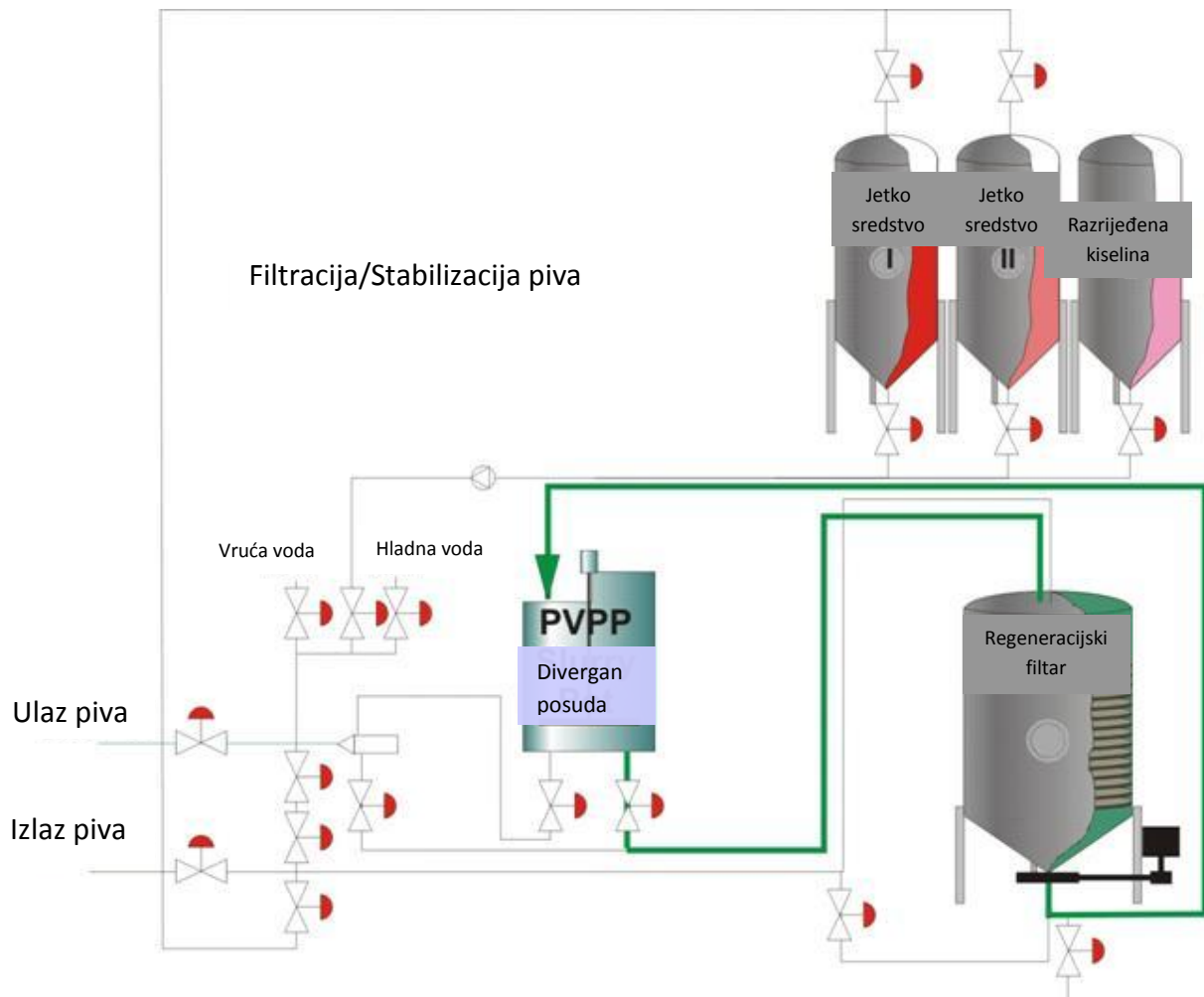
Slika 4. Svjećasti KG filtar

[Izvor:

http://www.daltraining.eu/WebHelp/009_Bright_beer_preparation/9.2.3_The_choice_of_Filters.htm#Candle_Filter, pristupljeno 19.4.2015.]

Nakon „*buffer tanka* 1“ pivo odlazi u Kieselgur filtar (KG filtar) koji može biti naplavni okvirni filtar ili je naplavni svjećasti filtar koji se uglavnom koristi. KG filtar kao filtracijsko sredstvo koristi dijatomejsko-infuzorijsku zemlju tzv. Kieselgur. To je bjelkasto ružičasti praškasti materijal koji se javlja u različitim veličinama. To je inertni, neotrovni materijal prirodnog podrijetla koji je sastavljen od istaloženih slojeva kremenastih dijatomeja (alge dijatomeje-kremenjašice). Koristi se za uklanjanje suspendiranih krutih tvari i stranih tvari iz tekućih otopina. Kieselgur je najvažnije pomoćno filtracijsko sredstvo koje se u pivarstvu tradicionalno upotrebljava kod naplavne filtracije sladovine i piva. Kod KG svjećastog filtra pivo se naplavljuje na slojeve Kieselgura koji se taloži na vanjske stijenke dugačkih vertikalnih plastičnih cijevi s perforiranim stjenkama tzv. svijećama posloženima u snopove u više slojeva. Svijeće su iznutra šuplje i pivo se, pri dolasku na svijeće filtra, filtrira kroz slojeve Kieselgura gdje se iz njega odstranjuju suspendirane krute tvari kao što su ostaci proteina i tanina i „deke“ te zaostali kvasac kao i druge strane tvari eventualno prisutne u pivu. Krute suspendirane čestice i strane tvari vežu se na aktivnu površinu Kieselgura koja nakon toga bubri i s vremenom dolazi do njenog zasićenja. Stoga se za vrijeme filtracije Kieselgur redovito dozira iz dozatora za Kieselgur. Količina Kieselgura koji se dodaje ovisi o volumenu piva koji se filtrira kao i tipu dijatomejske zemlje koja se koristi što ovisi o proizvođaču a prodaje se pod različitim trgovačkim oznakama. Prije samog dovodenja piva u KG filtar svijeće filtra se naplavljuju s dva sloja Kieselgura u količinama ovisno o površini svijeća svjećastog filtra. Profiltrirano pivo iz kojeg su uklonjene suspendirane krute tvari i strane tvari prolazi kroz slojeve Kieselgura i kroz perforiranu stijenku plastične cijevi

„svijeće“ i ulazi u njenu unutrašnju šupljinu odakle se odvodi dalje prema buffer tanku 2 ili direktno na sljedeći filtar koji se u pivovarama najčešće koristi a to je Polivinilpolipirolidon (PVPP)_filtar.



Slika 5. Shema principa rada PVPP filtra

[Izvor:

http://www.daltraining.eu/WebHelp/009_Bright_beer_preparation/9.2.5_Beer_stabilizing_filtration..htm#IX_PVPP, pristupljeno 19.4.2015.]

PVPP filtar je filtar koji se koristi za koloidnu stabilizaciju piva gdje se prolaskom piva kroz njega iz piva uklanjaju polifenoli koloidne čestice sklone nakupljanju u bijelo-sivkaste pahuljice odnosno flokule koje potrošačima djeluju odbojno jer to dovode u vezu s kontaminacijom piva stranim tvarima kao što su divlji kvasci, plijesni i čestice prašine. Razlog zbog kojeg se uklanjaju polifenoli je i taj što pridonose okusu „ustajalog piva“ tzv. *old flavoury taste* koji je neprijatan. PVPP je divergan sintetičkog podrijetla, velika polimerna molekula koja posjeduje svojstvo vezivanja polifenola. PVPP filtar se sastoji od više slojeva diskova vertikalno posloženih jedan iznad drugog gdje se na gornjoj strani diska nalazi sito s mrežastom membranom sitnih pora veličine manje od molekula PVPP divergana tako da pivo prolaskom kroz PVPP filtar u koji se dozira PVPP divergansko sredstvo prolazi kroz slojeve

diskova sa sitima s gornje strane kroz koje prolazi samo bistro koloidno stabilizirano pivo iz kojeg su uklonjene koloidne čestice polifenola koje su ostale adsorbirane na molekule divergana koji zbog svoje veličine ne mogu proći kroz pore mrežaste membrane sita. Pivo nakon filtracije i koloidne stabilizacije odlazi u „buffer tank 2“ gdje se pivo sakuplja i dodatno stabilizira te se u pivo dodaju pomoćna sredstva (aditivi) kao što su pojačivači boje, gorčine te stabilizatori pjene. Aditivi se doziraju iz dozatora spremnika za aditive pa tako postoje spremnik aditivi 1 za pojačivač boje, spremnik aditivi 2 za pojačivač gorčine, spremnik aditivi 3 za stabilizatore pjene.



Slika 6. Haffmanov karbonator koji se koristi za karbonizaciju piva nakon filtracije u karboblenderu

[Izvor:

http://www.daltraining.eu/WebHelp/009_Bright_beer_preparation/9.1.2_Carbonation.htm, pristupljeno 19.4.2015.]

Nakon buffer tanka 2 pivo dolazi u dio linije koji se zove karboblender. Taj uređaj je karakterističan za *High gravity brewing* proizvodnju piva. U njemu se pivo miješa s deaeriranom vodom na standardne vrijednosti ekstrakta u osnovnoj sladovini (°P) a time i volumni udio alkohola u pivu (alk.% vol/vol) ovisno o specifikaciji i propisima za proizvodnju određene vrste piva. Također se u karboblenderu odvija i dodatna karbonizacija piva na zadane vrijednosti koncentracije CO₂ ovisno o propisima i specifikaciji. Dodaju se i pomoćna sredstva za korekciju EBC jedinica boje kao što je karamelni prženi slad. Nadalje se dodaju sredstva za korekciju jedinica gorčine kao što je IBU odnosno izo- α -kiselina ekstrakti hmelja koji pridonose gorčini piva. Dodaju se i stabilizatori pjene koji osim što stabiliziraju pjenu pridonosi i gorčini piva (1g stabilizatora povećava gorčinu za 1.14 jedinica gorčine) te N₂ koji nema nikakvih utjecaja na gorčinu piva već samo dodatno stabilizira pjenu. U slučaju da je pivo u karboblenderu previše razrijeđeno ispod standardnih zadanih vrijednosti provodi se korekcija ekstrakta u osnovnoj sladovini (°P) dodavanjem piva iz linije obnove piva. Takvo pivo se dobiva uglavnom kod razrijeđenja piva prilikom filtracije kada se pivo protjeruje deaeriranom vodom kao prilikom recirkulacije piva kroz mali ili veliki krug na liniji filtracije što se često događa kada dođe do začepljenja pora na KG filtru od nataloženih suspendiranih krutih čestica i stranih tvari koje uzrokuju bubrenje dijatomejske zemlje i sabijanja nastalog taloga na pore svijeća što začepљуje filtar. U pravilu ako je razlika tlaka na ulazu i izlazu iz

filtra veća od 1.5bar znak je da je došlo do začepljenja filtra. Filtar se tada odčeppljuje protjerivanjem deaerirane vode u suprotnom smjeru kroz filter pod pritiskom kako bi voda koja u jakom mlazu ulazi u unutrašnju šupljinu svijeece izbila zbiti talog na porama bočnih stijenki cijevi svijeece. S vremena na vrijeme začepe se i pore sita na gornjoj strani diskova PVPP filtra koji se onda moraju izvaditi i ručno oprati pod mlazom vode iz tlačnog kompresora membrane sita kao i sama sita odnosno diskovi tako da se peru od rubova prema sredini i voda za ispiranje usmjerava prema otvoru na sredini diska nakon čega se sita postavljaju u bočni vertikalni položaj i uz pridržavanje ispiru s bočne i donje strane. Pivo koje razrjeđenjem u karboblenderu ima premali udio ekstrakta (par °P manje) koji se može popraviti slabim pivom iz *Potable liquid* tanka [eng. tank za držanje tekućine koja se može piti kako bi se spriječio njen dodir sa zrakom jer je tank pod tlakom i sprečava bilo kakav doticaj zaostalog zraka u tanku s tekućinom u ovome slučaju slabog piva] (PLT tanka) se obnavlja preko linije obnove piva. U protivnom se pivo koje ima više od 2°P koristi kao slabo pivo za obnavljanje drugog piva sa smanjenim udjelom ekstrakta i odvodi u PLT tank linije obnove piva. Ukoliko je udio ekstrakta manji od 2°P takvo pivo se automatski ispušta u kanal preko sigurnosnog ventila ispod karboblendera jer je preslabo kao i jako slabom blijedom bojom poput vode.

Nakon karboblendera standardizirano pivo se linijama punjenja BBT-a odvodi u „*Brewed beer tank*“ (BBT tankove) koji služe za skladištenje filtriranog i stabiliziranog gotovog konzumnog piva. Stabilizirano konzumno pivo se preko linija pražnjenja BBT-a po potrebi šalje u punionicu na linije punjača. Neke pivovare imaju jednu BBT liniju punjenja a neke dvije linije punjenja BBT tankova ukoliko su oni razmješteni i ne nalaze se unutar istog pogona primjerice na različitim katovima pogona fermentacije i filtracije. To su cilindrične posude različitog volumena koje su kao i fermentori rađeni od istog materijala ali za razliku od CKF-a nemaju konusni dio u donjem dijelu a i manjeg su volumena od 800hL do 1500hL. Pogon filtracije i BBT-a je vođen automatski od strane operatera koji po potrebi prebacuje dijelove procesa proizvodnje na ručno i sam dalje upravlja procesom putem radnog sučelja gdje se putem četiri do šest monitora prate radnje u pojedinim dijelovima filtracijskog pogona linije BBT-a.

Linija filtracije kao i linija BBT-a spojene su na CIP liniju s ugrađenim CIP sustavom za pranje u svim posudama u pogonu za filtraciju i BBT-ima. Kiselina se koristi za hladno pranje posuda kao i kod fermentacijskog dijela pogona dok se cijevi linija još tretiraju lužinom kod vrućeg pranja. Upotrebljavaju se ista kiselina i lužina kao i kod pogona fermentacije i odležavanja. Tijekom vođenja procesa se obavezno prati volumni protok piva i deaerirane vode te tlak na ulazima u filtre, izlazima iz njih kao i na pojedinim dijelovima linije koji uključuju buffer tankove. Svi uređaji imaju ugrađene sonde kao i PID regulatore na pumpama i ventilima dozatora pomoćnih sredstva kao i na samim cijevima u liniji. U karboblenderu se uz volumni protok i tlak mjere još i postotak ekstrakta u °P, volumni postotak alkohola (% vol/vol), maseni protok CO₂ i N₂ te EBC jedinice boje kao i jedinice gorčine. Kao i tijekom svog procesa proizvodnje tako i na filtraciji se uzimaju uzorci na svakom koraku i provodi kontrola kvalitete u kemijskom i mikrobiološkom laboratoriju jer se na filtraciji pivo koje ode u BBT-e ukoliko ne zadovoljava standarde i nije prema specifikaciji

može korigirati jedino ponovnom filtracijom tzv. refiltracijom pa kako bi se daljnji proces proizvodnje mogao na vrijeme stopirati vrše se navedene kontrole.

2.5. Punjenje filtriranog konzumnog piva u odgovarajuću ambalažu

Pivo se puni u odgovarajuću ambalažu u punionici. Punionica se sastoji od nekoliko linija punjača. Obično su to do 3 linije punjača staklenih boca volumena 0.25, 0.5 i 1L od kojih ona najveća radi kontinuirano tijekom cijele sezone puneći pivo u staklene boce od 0.5L eventualno 1L. Tu se pune najveći i glavni brendovi pivovare koji se i najviše proizvode. Srednja linija koristi se za punjenje posebnih piva koja se rjeđe proizvode i u manjim količinama tako da ta linija radi tijekom čitave godine ili, po potrebi, diskontinuirano. Manja linija koja radi tijekom sezone kada pivovara radi punim kapacitetom se koristi za specijalna punjenja posebnih piva koja se pune u staklene bočice od 0.25L za potrebe ugostiteljstva (restorani, hoteli, gostione te caffe-barovi). Osim linija punjača staklenih boca postoji i dodatna 4. linija punjača koja se dijeli na PET liniju za punjenje u PET boce od 1L, 1.5L i 2L. U punionici se nalazi i *can line* ili linija limenki koja služi za punjenje piva u limenke volumena 0.33L i 0.5L. Velike industrijske pivovare proizvode i točno pivo koje se puni u metalne bačve tzv. kegove koji se pune na liniji punjača bačvi u bačvariji. Koriste se *draft* kegovi koji imaju ugrađenu ručicu za dodatnu karbonizaciju piva prije točenja te imaju ugrađeni prijenosni hladnjak koji se sastoji od umanjenog sustava za hlađenje pomoću rashladnog sredstva najčešće tekućeg glikola čime se pivo hladi na idealnu temperaturu točenja 4-6°C.

Pivo nakon dolaska u punionicu iz BBT-a putem BBT linija pražnjenja dolazi u buffer tank gdje se pivo smiruje i stabilizira a istovremeno su sprečavaju udari visokog tlaka piva pod pritiskom i visokim protokom prilikom dolaska u punionicu. Pivo dalje prolazi kroz protočni pasterizator gdje se kroz sistem zavojnih dugih cijevi kroz tri zone hladna-topla-hladna pasterizira kroz određeno vrijeme na određenoj povišenoj temperaturi ovisno o tome koliko se PU (pasterizacijskih jedinica) treba postići sukladno specifikaciji i standardima za proizvodnju te vrste piva. Kod potiskivanja piva se koristi čisti CO₂ kao i za istjerivanje zraka iz linije punjača i same ambalaže prilikom punjenja na punjaču. Prije svakog prihvata piva buffer tankovi i BBT linije pražnjenja kao i linije punjača se ispiru CIP sustavom pranja. Količina kisika eventualno prisutnog u liniji punjenja piva u buffer tanku i cijevima dovoda piva na punjač kao na protočnom pasterizatoru se mjeri oksimetrom koji pokazuje koliko je zraka ostalo u cijevima linije punjenja punjača i buffer tanku kao i BBT linije pražnjenja nakon pranja. Kada je razina kisika iz zraka u cijevima visoka iznad više stotina ppb-a zrak se potiskuje pomoću CO₂ pod tlakom i ispušta kroz ispušne ventile na liniji punjenja punjača u kanal. Kada je sav zrak istisnut i razina kisika je pala ispod 80 ppb-a pivo se može pustiti u buffer tank odnosno liniju punjenja punjača. Na taj način se pivo ujedno dodatno karbonizira i višak CO₂ u liniji koji stvara pretlak se ispušta kroz ispusni ventil za višak CO₂ u kanal. Pivo pomiješano s vodom iz linije je bljedunjave boje i smanjenog udjela ekstrakta i volumnog udjela alkohola s obzirom da je razrijeđeno s vodom upotrijebljenom za pranje linije punjača kao i BBT linije pražnjenja. Tek kad se na lanterni pojavi pivo tamnije izražene boje znak je

da je počelo na punjač dolaziti čisto pivo koje se zatvaranjem ispusnog ventila i istovremenim otvaranjem ventila ulaza piva u punjač šalje u prstenaste kotlove punjača gdje se pomoću igli automatskih punilica pivo puni u boce odnosno limenke i kegove. Igle imaju senzor za razinu napunjenog piva. Kad se stvori suprotni tlak na punilici od napunjenog piva u boci ili limenci odnosno kegu punilica se automatski zatvara i pivo se više ne dozira u ambalažu. CO₂ za potiskivanje piva se koristi i za istiskivanje zraka iz ambalaže stvarajući tako inertnu atmosferu CO₂ prilikom punjenja piva u odgovarajuću ambalažu što omogućuje zatvorene anaerobne načine punjenja. Za punjenje u boce pivo se dodatno karbonizira na vrijednost koncentracije CO₂ od 5.40 g/L dok se za punjenje u metalne bačve i limenke pivo dodatno karbonizira do vrijednosti od 4.90g/L koncentracije CO₂.

3.) EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Materijali, sirovine i pomoćne tvari u proizvodnji piva

U proizvodnji *High gravity brewing* piva korištene su standardne sirovine za proizvodnju piva kao što su ječmeni slad, hmelj (gorke i aromatične sorte), najkvalitetniji pivski kvasac te dekarbonizirana i deaerirana voda najviše kvalitete, a od neslađenih sirovina kukuruzna krupica i cjelovito neslađeno zrno ječma. Za korekciju boje piva u EBC jedinicama (*European Brewery Convention*) koristi se prženi karamel slad, koji ima ugodan miris i okus na karamel i finu tamnosmeđu boju. Također je korištena i dekarbonizirana voda (DK voda) koja je procesom taloženja karbonata iz vode uz pomoć vapnenog mlijeka omekšana na zadovoljavajuće njemačke stupnjeve (°nj) tvrdoće (5-7°nj). Dodan je hmelj visoke kvalitete kao glavni "začin" pivu kako bi pivo dobilo svoju gorčinu i aromu na hmelj. Izuzev gorčine i hmeljne arome pivu se dodaje hmelj i zbog aseptičkih svojstava jer ono negativno djeluje na rast većine kontaminirajućih bakterija i virusa kao i divljih kvasaca. U proizvodnji piva kako klasičnim tako i *high gravity brewing* postupkom koriste se gorka i aromatična sorta hmelja. Gorka sorta hmelja dodaje se na početku kuhanja sladovine 1 minutu nakon što je sladovina stavljena da vrije u kotlu sladovine na 100 do 101.4°C. Ona je odgovorna za gorčinu piva a korištena je za sve brandove piva u asortimanu Zagrebačke pivovare. Za dobivanje hmeljne arome koristi se aromatična sorta hmelja bogata eteričnim uljima i esterima odgovornim za miris i aromu na hmelj. Takva sorta je korištena u proizvodnji većine brandova piva, jedino je za određeni brand piva po recepturi strogo korištena druga aromatična sorta. S obzirom na to da Zagrebačka pivovara u svome asortimanu ima i brandove piva koji nisu izvorno njihov proizvod već ih proizvode po licenci strane multinacionalne pivarske kompanije "*In Bev*" čija su filijala u prošlosti bili, pa su tako zadržali i proizvodnju piva kojeg su i tada proizvodili bez plaćanja licence koju sada moraju plaćati svojim bivšim vlasnicima s obzirom na to da su od 2012. godine pod vlasništvom *Molson Coorsa*.

Posljednji i najvažniji sastojak u proizvodnji piva i jedna od njegovih izvornih sirovina je pivski kvasac. To je kvasac *Saccharomyces cerevisiae*. Bez prisutnosti toga kvasca nema procesa burnog glavnog vrenja pri kojem sladovina bogata ekstraktom fermentira i prelazi u mlado ili zeleno pivo. Nakon toga se veći dio kvasca izdvaja na centrifugalnom separatoru dok manji dio kvasca zaostaje u mladom pivu kako bi ono još par dana pri *High gravity brewingu* odležalo odnosno prošlo maturaciju ili dozrijevanje piva. Postoje hladna i topla fermentacija odnosno glavno vrenje i topla odnosno hladna maturacija tj. dozrijevanje. U Zagrebačkoj pivovari se u praksi koristi toplo glavno vrenje (fermentacija na 13 do 18°C max. 20°C nakon čega se temperatura ponovo spušta na 13°C. Nakon toga slijedi hladna maturacija na temperaturama od -2 odnosno -1.5°C do najviše +2°C. Tako velika razlika između glavnog vrenja i maturacije provodi se zbog maksimalnog ubrzavanja procesa proizvodnje kako bi pivou što kraćem vremenu prošlo glavno vrenje i maturaciju a sve u cilju da pivo u roku tjedan dana bude spremno za konzumaciju i napusti skladište pivovare, te bude transportirano na tržište. Sve se velike pivovare time vode kako bi si maksimalno oslobodile ograničene kapacitete koje imaju. Za naciepljivanje se koristi 100% čista kultura kultiviranog pivskog kvasca propagiranog u laboratoriju od jedne stanice koja ima najbolje karakteristike a to je da je vitalna i snažna, da brzo raste i snažno i brzo u potpunosti previre sladovinu. Izvorna stanica kvasca se svakih dva do tri mjeseca nadomješta novom stanicom iz njemačke banke

kvasaca i ostalih radnih mikroorganizama (*Hefe Bank*). Odabrana stanica kvasca se najprije mikromanipulacijom nacijepi na kosi agar i zalije s 10ml sladovine kako bi se razvile stanice kvasca i umnožile dovoljno za nacjepljivanje na hranjive podloge u Petrijevim zdjelicama. Nakon inkubacije kulture kvasca na hranjivim podlogama do vidljivih poraslih kolonija, kvasac se u omjeru 1:5 odnosno 1:10 nacjepljuje u tekuće hranjive podloge s hranjivim bujonom odnosno sladovinom u Erlenmeyerovim tikvicama do volumena od 5L. Svo vrijeme kvasac se inkubira odnosno umnožava u laboratorijskim uvjetima u mikrobiološkom laboratoriju. Kada se dostigne volumen od 5L čista kultura kultiviranog kvasca se prebacuje u Carlsbergovu posudu. Tijekom svog vremena propagacije kvasca, kultura kvasca se mora aerirati sterilnim zrakom i postepeno pripremati na pogonske uvjete uzgoja. Pogonski dio započinje prebacivanjem kvasca iz Carlsbergove posude u biopropagator volumena 50L kako bi se umnožila dovoljna količina radne kulture kvasca. Nakon toga kvasac se prebacuje u veći propagator CKF tipa gdje se propagira radna kultura do maksimuma na radnu, korisnu količinu kojom se nacjepljuju CKF. CKF-ovi se nacjepljuju odozdo u konusnom dijelu fermentora putem cijevi za dovod kvasca. Sladovina također ulazi u fermentore odozdo iz izmjenjivača topline gdje je bila po zonama na hlađenju. Kvasac koji se upotrebljava mora sadržavati više od 95% živih stanica i mora snažno i brzo, te u potpunosti previrati sladovinu. U industrijskoj proizvodnji danas se jedna te ista kultura kvasca koristi najviše pet puta. Nakon fermentacije kvasac prve do pete generacije se odvaja u centrifugalnom separatoru i linijom odvođenja kvasca se odvodi u tzv. TOK-ove (tankove obnavljanja kvasca gdje se kvasac drži pod slojem mladog piva ili sladovine odnosno vode sve dok ne bude ponovo upotrijebljen za sljedeće novo nacjepljivanje fermentora. Kvasac se nakon pete generacije više ne upotrebljava već se odvodi nakon separacije na centrifugalnom separatoru u tank za otpadni kvasac koji se onda može prodati za stočnu hranu ili se može osušiti i samljeti u fini prah kako bi se dobio kvašćev ekstrakt koji je našao svoju primjenu u farmaceutskoj kozmetičkoj industriji. Ukoliko pivovara ne uspije pronaći kupca onda taj kvasac ispušta u kanal zajedno s otpadnom industrijskom vodom iz pogona koja sadrži razrijeđene slabe kiseline i lužine koje omogućuju lakšu razgradnju kvasca u ispusnoj otpadnoj vodi a koji pridonosi velikom organskom zagađenju otpadnih voda.

Osim navedenih osnovnih materijala u procesu proizvodnje piva *High gravity brewing* postupkom koriste se i tzv. pomoćne tvari. Od pomoćnih tvari su zastupljeni razni komercijalni kemijskim putem sintetizirani enzimi koji zamjenjuju nedostajuće enzime iz krupice jer ih ona ne sadrži. To su enzimi koji se koriste u malim koncentracijama pri *High gravity brewing* postupku proizvodnje određenih brandova piva iz asortimana Zagrebačke pivovare. Ti enzimi se dodaju u sladovinu zajedno s hmeljem neposredno prije samog kuhanja sladovine. Uz navedene pomoćne tvari koriste se još i sredstva za stabilizaciju pjene koja osim učinka na stabilizaciju pjene, ima utjecaj i na gorčinu. 1g dodanog stabilizatora pjene povećava gorčinu za 1.4 BU (*bitter units*) odnosno jedinica gorčine. Količine pojedinih stabilizatora pjene koje se dodaju pivu prilikom njegove dorade u karboblenderu ovise o specifikaciji i standardima za pojedini pivski brand i pivovara ga drži u tajnosti. Otprilike se dodaje nekoliko (oko 3g) grama po hektolitr piva stabilizatora pjene koji se dodaje u pivski brand kako bi dodatno stabilizirao pivsku pjenu.

Ako pivo kod razrjeđivanja ima mali udjel gorkih sastojaka hmelja koji su ujedno i antimikrobni sastojci hmelja postoji određena opasnost da pivo bude lakše zagađeno nekim od kontaminanta piva. HOP je hmeljni ekstrakt koji sadrži ekstrahirane izo- α i β -kiseline koje pojačavaju gorčinu slabo gorkog piva za nekoliko jedinica gorčine (BU) i samim time antimikrobna svojstva hmelja. Od ostalog pribora koji su korišteni u eksperimentalnim i kontrolnim mjerenjima su saharometar, digitalni pH metar s baždarnim pufer otopinama od pH 4, pH 6 i pH 7. Kod određivanja udjela neprevrelog ekstrakta u osnovnoj sladovini u vriono-ležnom podrumu korišten je digitalni refraktometar.

3.2. Metode rada

Metode rada koje se koriste su uglavnom nove ili stare poboljšane metode i većinom zahtijevaju moderne sofisticirane uređaje. Neka mjerenja kao što su vodljivost, protok, masena koncentracija i volumni udjeli mjere se tijekom proizvodnje putem računalnog programskog sučelja kao što je Montelektra gdje se svi važni parametri u proizvodnji kao što su tlak, temperature, koncentracija dimetil sulfida direktno mjere pomoću sonde i automatski na ekranu ispisuju njihove aktualne vrijednosti. U varionici kod uzimanja uzorka komine nakon ukomljavanja, kao i kod uzorkovanja prvijenca sladovine nakon filtracije na Meura filtru, te uzimanja uzoraka ohmeljene sladovine nakon kuhanja u kotlu sladovine se upotrebljavaju dvije relativno jednostavne i učinkovite metode za određivanje stupnja ošećerenja komine odnosno sladovine, kao i određivanje pH vrijednosti. Stupanj ošećerenja se određuje na licu mjesta pomoću saharometra. To je uređaj koji se sastoji od dvije metalne cijevi jedna u drugoj gdje se u većoj nalazi voda koja služi kao rashladno sredstvo za hlađenje sladovine na 20°C dok je u manjoj cijevi uzorak sladovine koja se hladi na 20°C i čiji se udio ekstrakta u osnovnoj sladovini određuje. U tu manju cijev s ohlađenom sladovinom se uranja areometar koji mjeri masenu koncentraciju fermentabilnih šećera odnosno volumni udio (% vol/vol) neprevrelog ekstrakta. U *High gravity brewing* proizvodnji piva se ukomljavaju i kuhaju piva s 15, 17.5, 18 i 20 stupnjeva Plato-a (°P). Stupanj Plato-a je jedinica količine neprevrelog ekstrakta u sladovini a odgovara 1g fermentabilnih šećera /L sladovine. Ako se dobiva visok broj stupnjeva Plato-a (°P) znači da je dobiveno jako dobro ošećerenje komine odnosno sladovine. Osim saharometra u varionici se kod ukomljavanja i analize komine i iz nje dobivene sladovine koristi i digitalni pH metar s odgovarajućim baždarnim pufer otopinama. Pomoću njega se mjeri pH vrijednost komine odnosno iz nje ocijedene sladovine kako pH vrijednost komine ne bi bila previsoka osobito nakon cijedenja i ispiranja sladovine iz komine odnosno pivskog tropa na Meura filtru. Stoga se pH vrijednost sladovine kontrolira prije filtracije u sklopu komine, zatim nakon filtracije i ispiranja sladovine a prije kuhanja i hmeljenja iste te nakon kuhanja ohmeljene sladovine prije njenog odlaska u dekanter za izdvajanje toplog grubog taloga iz sladovine i slanje po zonama (gornja, pa srednja te donja zona) na hlađenje u pločasti hladionik gdje se izdvaja fini hladni talog.

U vriono-ležnom podrumu se odvija glavno vrenje sladovine pri čemu ona prelazi u mlado ili zeleno pivo koje se zatim prebacuje u prazne fermentore ili ostaje u istom fermentoru u kojem se odvijalo i glavno vrenje nakon što je iz konusa uklonjen najveći dio kvasca i ostatka

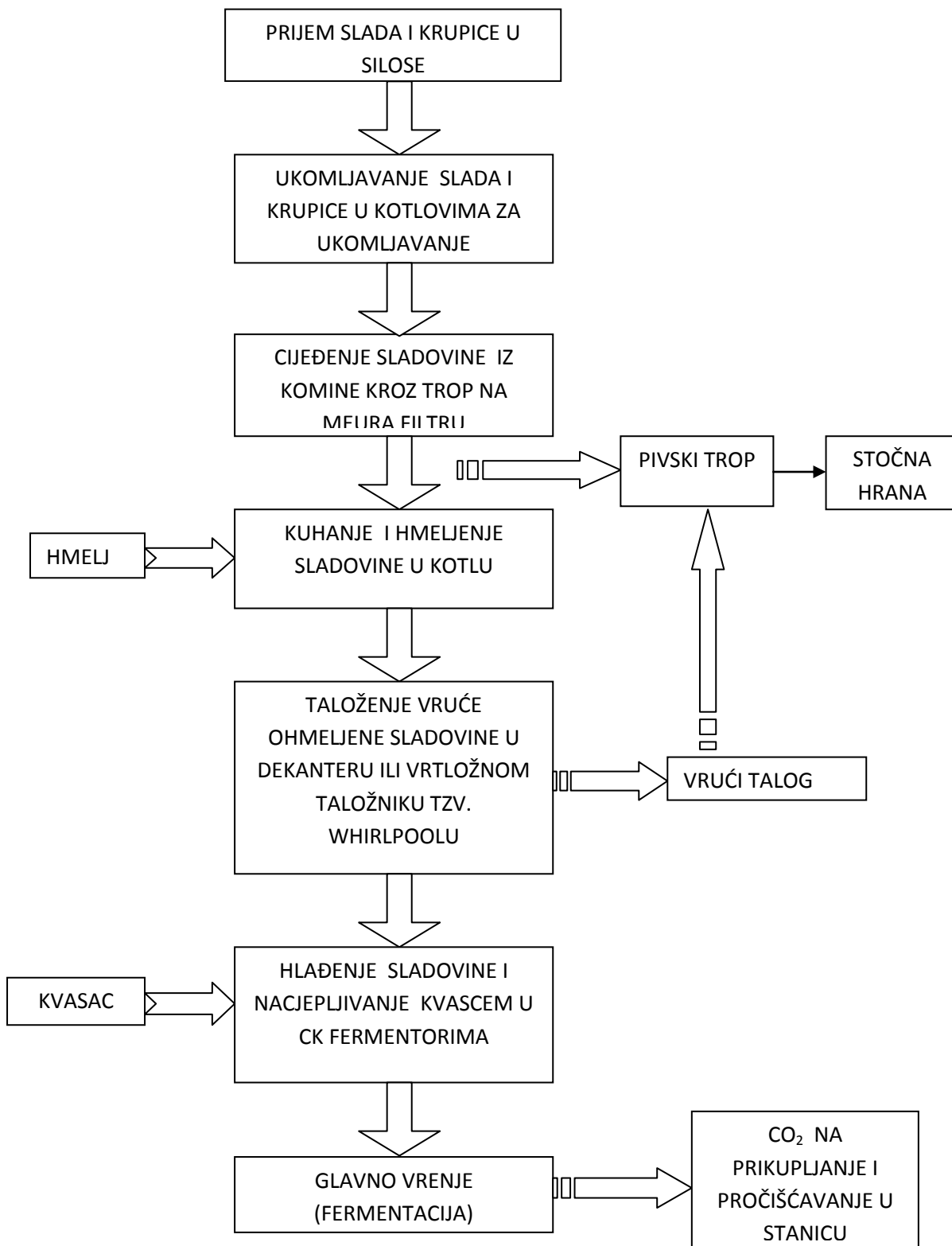
proteinsko-taninskog taloga koji tvori tzv. deku. Glavno vrenje odnosno fermentacija odvija se u cilindrično-konusnim fermentorima, a za to se vrijeme mjere putem digitalnog programskog sučelja tvrtke Montelektra vodljivost, temperatura, tlak u fermentorima osobito se mjeri koncentracija nastalog CO₂ za vrijeme alkoholne fermentacije koji se prikuplja, pročišćuje i ukapljuje u stanici za prikupljanje CO₂ za vrijeme procesa proizvodnje piva a koja je smještena u sklopu strojarnice. Mjeri se i nastali dimetil sulfid koji nastaje za vrijeme glavnog vrenja u većoj koncentraciji kao jedan od produkata kvašćeva metabolizma da bi kasnije tijekom odležavanja odnosno dozrijevanja ili maturacije njegova koncentracija pala jer bi ga kvasac ponovo iskoristio za svoje druge metaboličke procese i puteve biosinteze staničnih sastojaka. Nakon glavnog ili burnog vrenja slijedi naknadno vrenje ili doviranje koje se također odvija u cilindrično-konusnim fermentorima koji mogu biti isti u kojima se odvijalo i glavno vrenje ili mogu biti neki od ostalih praznih CKF-ova predviđenih i namijenjenih za odležavanje tj. maturaciju piva. Za vrijeme odležavanja mjere se sljedeći parametri: temperatura, tlak, koncentracija prisutnog CO₂ kao i prisutni DMS te vicinalni diketoni diacetil (2.3-butandion) i acetoin (2.3-pentandion) koji su nusproizvodi kvašćeva metabolizma u manjoj mjeri za vrijeme glavnog ili burnog vrenja a više nakon vrenja osobito za vrijeme doviranja ili maturacije mladog piva. Vicinalni diketoni kao i viši alkoholi koji nastaju tijekom fermentacije kao produkti kvašćeva metabolizma važni su nosioci okusa te arome piva. Tijekom čitavog procesa proizvodnje piva mjeri se fiziološka vodljivost kako bi se ustanovilo uslijed povećane fiziološke vodljivosti eventualna kontaminacija nekim od štetnih mikroorganizama pivskih kontaminanata kao što su bakterije mliječne kiseline, divlji kvasci, osobito *killer* kvasci koji luče proteinske toksine tzv. zimocine koji ubijaju stanice osjetljive radne kulture pivskog kvasca i brzo se razmnožavaju te imaju tendenciju da nadvladaju pivski kvasac i postanu dominantna vrsta odnosno soj. Za vrijeme proizvodnje se mjeri protok u hL/h kao i masena koncentracija CO₂ upotrijebljena za potiskivanje tzv. "drukanje" piva kao i dodatnu karbonizaciju piva. Mjeri se masa usipka krupice i slada kod ukomljavanja kao i volumen dekarbonizirane vode za glavni naljev te za naknadne naljeve kod ispiranja sladovine iz pivskog tropa na Meura filtru. Kod kuhanja sladovine se mjeri količina dodanog hmelja (obje sorte) kao i količina dodanih komercijalnih enzima potrebnih za potpunu razgradnju škroba i polimernih dekstrina koji nastaju nakon ukomljavanja a koje kvasac sam ne može prevreti odnosno fermentirati te ga se mora prevesti u niže fermentabilne šećere koji su topljivi u vodi a koje pivski kvasac može bez problema prevreti u etilni alkohol, CO₂ i toplinu kao i ostale produkte kvašćeva metabolizma. To su monosaharidi glukoza, fruktoza, manoza, disaharidi saharoza i maltoza te melibioza kao i trisaharid maltotriosa. Stupanj ošećerenja se određuje određivanjem stupnjeva Plato-a (°P) pomoću saharometra kod uzimanja uzorka u koji se može kapnuti i par kapi jodne otopine koja reagira sa škrobom prisutnim u komini. Ukoliko se sav škrob nije razgradio tijekom ukomljavanja i prešao u topljive fermentabilne šećere, nastaje plavo obojenje što je pozitivna reakcija na škrob. U slučaju da je sav prisutni škrob razgrađen otopina bi dala žuto obojenje što je negativna reakcija na škrob i dokaz potpunog i dobrog ošećerenja komine. Nakon glavnog vrenja u pivovari pivo se zajedno s namnoženim kvascem ispušta iz primarnog CKF-a i linijom pražnjenja odvodi na centrifugalni separator gdje se pomoću centrifugalne sile od mladog piva izdvaja namnoženi kvasac te zaostala pivska "deka" koju čine ostaci proteinsko-taninskog taloga i pjene. Kvasac od prve do pete generacije se obnavlja u TOK-ovima.

Nakon odležavanja pivo se linijom punjenja filtra šalje na filtraciju. Mjeri se količina nanešenog Kieselgura za prvo i drugo naplavlivanje kao i protok piva kroz filter te tlak na ulazu i izlazu iz Kieselgur filtra. Za protjerivanje piva kroz filter se koristi deaerirana voda koja se crpi iz stanice za deaeriranu vodu u sklopu vriono-ležnog podruma. Nakon biološke stabilizacije na Kieselgur filtru pivo ide na drugu vrstu filtra na kojem se provodi koloidna stabilizacija piva. To je polivinilpolipirrolidon (PVPP) filter. PVPP je visokopolimerizirano filtarsko sredstvo netopljivo u vodi, alkoholu, toluenu i ostalim organskim otapalima, koje ima svojstvo da veže na sebe sve polifenolne spojeve koji stvaraju koloidno замуćenje piva u obliku bijelih pahuljica ili taloga, osobito ako se pivo drži u hladnjaku. Uslijed niske temperature i koagulacije proteina i fenolnih spojeva stvara se privremeno koloidno замуćenje, koje može dužim stajanjem prijeći u trajno замуćenje uslijed starenja piva dugim stajanjem bilo u hladnjaku ili na suhom i hladnom mjestu daleko od izvora svjetlosti. I na ovom filtru se mjeri protok piva na ulazu i izlazu iz filtra, kao i protok deaerirane vode. Mjeri se tlak na ulazu i izlazu iz filtra te masena koncentracija upotrebljenog PVPP divergana kao pomoćnog filtracijskog sredstva za koloidnu stabilizaciju piva. Za Kieselgur valja napomenuti da je najpoznatije prirodno netoksično filtracijsko sredstvo od davnina poznato u proizvodnji piva dok je PVPP najpoznatije sintetičko netoksično i bezopasno sredstvo koje se u pivarstvu počelo upotrebljavati u novije vrijeme tijekom 20. stoljeća. Nakon filtracije pivo se prebacuje u tzv. BBT-je koji služe za privremeno skladištenje gotovog konzumnog piva do njegovog otakanja u ambalažu u vidu staklenih odnosno PET boca, limenki i metalnih bačvi tzv. kegova. U BBT-ima se pivo za vrijeme sezone kratko zadržava često manje od 24h dok van sezone zna odstožati dva to najviše pet dana ovisno o stalnim zalihama piva na skladištu u pivovari. Zagrebačka pivovara ima dvije linije punjenja i pražnjenja BBT-ja. BBT-1 linija je automatizirana u potpunosti i puni se automatski putem radnog sučelja iz kontrolne sobe linije filtra i vriono-ležnog podruma u kojem je i smještena. BBT-2 linija je još neautomatizirana i puni se ručno na dojavu od strane operatera iz kontrolne sobe filtracije a smještena je na zadnjem katu iznad linije filtra smještenog na prvom katu zgrade proizvodnje u čijem je prizemlju vriono-ležni podrum. U BBT-ima se mjere tlak i temperatura te koncentracija CO₂ koja se postiže idealnom u karboblenderu. Karboblender je dio linije za proizvodnju piva koji se nalazi iza linije filtra a prije prebacivanja piva u BBT-je. On je ključan u *High gravity brewing* proizvodnji piva. U njemu se mjeri protok pive kao i deaerirane vode kojom se ona protjeruje kroz karboblender. Osim njih mjeri se i stupanj Plato-a (°P), koncentracija CO₂ prisutnog u pivu kao i masene koncentracije svih pomoćnih sredstava koje se u pivo u karboblenderu dodaju. Tako se mjeri koncentracija stabilizatora pjene, HOP izomernih kiselina kao što su izo α -kiseline te koncentracija N₂ koja se dodaje najpoznatijem pivskom brandu Zagrebačke pivovare. Cjelokupni protokol mora se pridržavati zadane recepture s manjim odstupanjima. Nakon što se pivo "standardizira" odnosno razrijedi na standardne vrijednosti i eventualno korigira sa slabim pivom putem linije obnove piva (pivom s malim udjelom °P, svega 2-3°P) pivo je spremno za punjenje u odgovarajuću ambalažu.

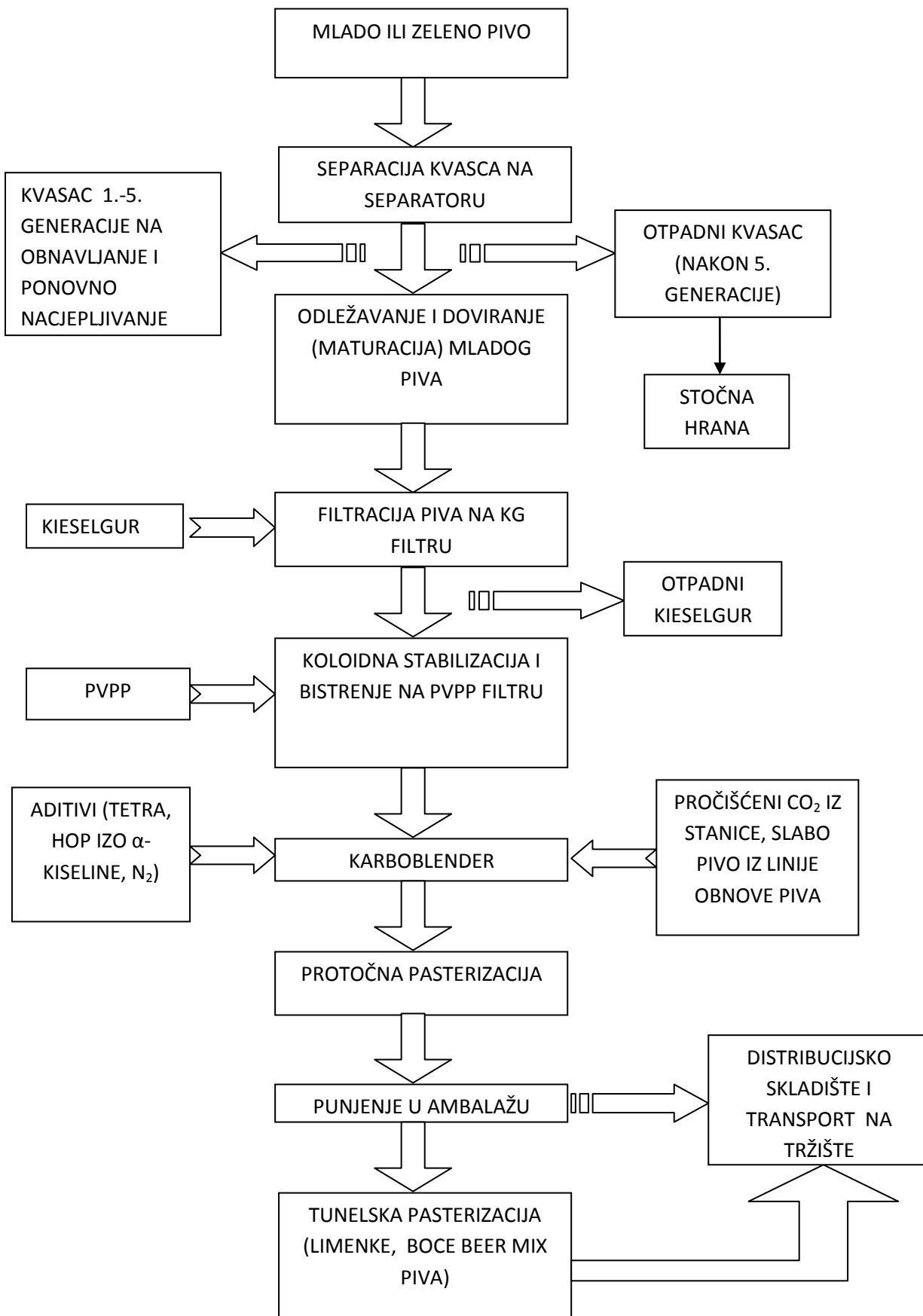
Punjenje piva u odgovarajuću ambalažu se odvija u zasebnom dijelu pivovare koji se naziva punionica. U punionici se pivo iz BBT-ja dovodi u buffer tankove u koju se najprije uvodi CO₂ kako bi se stvorila inertna atmosfera bez prisutnosti kisika. Tek kad se razina kisika spusti na manje od 0.4 do 0.6 mgO₂/L dakle na svega 400 do 600 ppb (*parts per*

billion=dijelova na milijardu (10^{-9})) pivo se može "drukati" s tlakom čistog CO₂ u buffer tankove. Tu se mjeri pomoću sofisticiranog uređaja koji se zove oksimetar koncentracija O₂ u samom tanku te pomoću mjerača inertne atmosfere CO₂ njegova koncentracija koja mora biti u skladu s propisima za tu vrstu proizvoda. U punionici se pivo dodatno biološki stabilizira nakon filtracije, odnosno bistrenja, postupkom koji se zove pasterizacija. Pasterizacija je postupak termičke obrade piva gdje se ono dodatno biološki stabilizira kako bi se inaktivirale sve potencijalno štetne tvari u pivu. To su eventualno zaostale stanice kvasca ili eventualno prisutni kontaminanti dospjeli u pivo prilikom punjenja u BBT-je ili u buffer tankove punionice, kao i na samim punilicama i čepilicama. Kod njih je ukoliko nema redovitog pranja linije punjača (tzv. šamponiranje) moguća sekundarna kontaminacija što je vrlo neugodno po proizvođača piva, osobito ako se pivo kontaminira s bakterijom iz roda *Pectinatus cerevisii* koju je vrlo teško otkriti, a kvari pivo i zamućuje ga dajući mu miris na sumporovodik koji u pivu razvija i odvratn sumporični okus. Najgori je kontaminant u pivu a pojavio se tek u novije vrijeme s obzirom da je obligatno anaerobna bakterija pa se može razvijati samo u suvremenim zatvorenim anaerobnim sustavima punjenja piva u ambalažu. Razlikuju se dva tipa pasterizacije protočna i tunelska. Protočna pasterizacija se odvija prije dolaska piva na samu liniju punjača i tu pivo prolazi kroz višestruko svinutu zavojnu cijev gdje prolazi kroz dvije faze. Prva faza je faza zagrijavanja piva na određenu temperaturu ovisno o tome koliko Pasterizacijskih jedinica želimo dobiti odnosno na kojoj temperaturi pivo mora provesti neko vrijeme da bi bilo pasterizirano sukladno standardima i protokolu. Pivo se najprije postepeno pa zatim naglo zagrijava kako bi se postigla temperatura piva kako je zadana specifikacijom odnosno propisima za pasterizaciju. Nakon što pivo kraće vrijeme bude zadržano na toj temperaturi kako bi se inaktivirali eventualno zaostali kvasci i štetni mikroorganizmi, ono prelazi u drugu fazu pasterizacije a to je faza hlađenja u kojoj se pivo najprije naglo a zatim postepeno hladi na temperaturu punjenja piva u punilicama smještenim na liniji punjača. Prije pasterizacije je preporučljivo pivo obavezno koloidno stabilizirati, jer temperatura pasterizacije ubrzava starenje koloida prisutnih u pivu. Praktično trajanje pasterizacije ovisi o temperaturi zadržavanja a njena uspješnost ovisi o primijenjenim pasterizacijskim jedinicama. Pasterizacijska jedinica (Pj) je potrebno vrijeme zadržavanja piva na određenoj temperaturi izraženo u minutama, kojim se postiže isti učinak termičke destrukcije mikroorganizama kao pri 60°C u trajanju od jedne minute. Druga vrsta termičke obrade gotovog konzumnog piva je tunelska pasterizacija. Tunelska pasterizacija ima istu svrhu kao i protočna pasterizacija. Tunelska pasterizacija se provodi i zbog toga kako bi se inaktivirao enzim saharaza između ostalih aktivnih enzima kojeg ima u maloj prisutnosti u gotovom konzumnom pivu s krajnjim ciljem inaktivacije svih enzima kao i eventualno prisutnih kontaminirajućih mikroorganizama u pivu. U suvremenim industrijskim pivovarama kroz tunelski pasterizator se propuštaju boce voćnih miješanih piva tzv. *beer mixevi* i limenke. Na svim punjačima u punionici pivo se puni pomoću igli za punjenje. Obavezno se mjeri tlak CO₂ u svim ambalažama kao i stabilnost pjene kako bi se ustanovilo da je pivo pravilno ambalažirano i skladišteno po odgovarajućim standardima i danoj specifikaciji.

Slika 7. Shema *High gravity brewing* procesa proizvodnje piva od prijema slada i krupice do završetka glavnog vrenja [Autor: Ozren Petrović]



Slika 8. Shema *High gravity brewing* procesa proizvodnje piva – od dozrijevanja mladog piva do pasterizacije [Autor: Ozren Petrović]



4.) REZULTATI

4. REZULTATI

Na osnovu kontinuiranog praćenja procesa i provedenih mjerenja dobiveni su sljedeći rezultati:

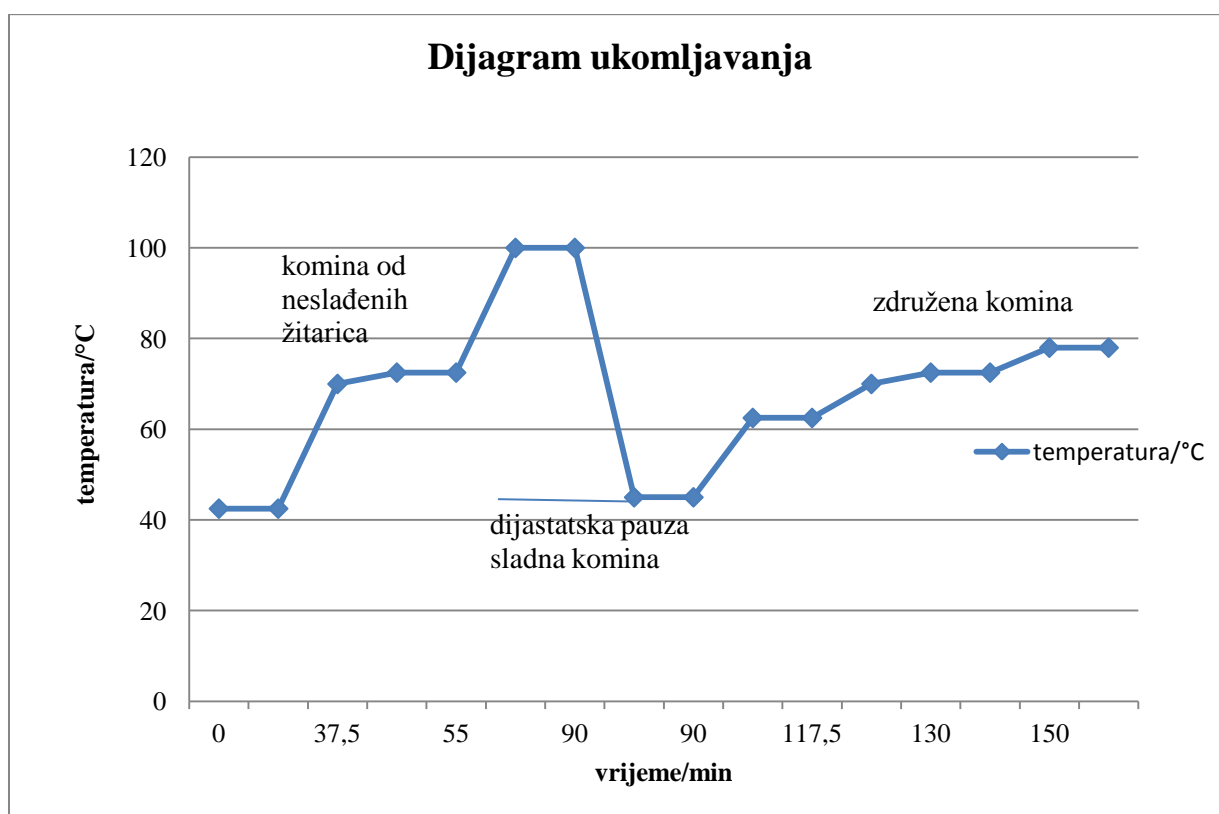
Tablica 2. Varionica [Autor: Ozren Petrović; Napomena: U tablici su navedene okvirne vrijednosti zbog tajnosti podataka.]

Vrsta pivskog branda	Udio ekstrakta u sladovini (% v/v)	pH vrijednost sladovine
Pivo 1	15, 17.5, 18, 20	4.54
Pivo 2	15, 17.9, 18.1	4.57
Pivo 3	14	4.45
Pivo 4	14.9, 17.4	4.50
Pivo 5	15, 18.2	4.48

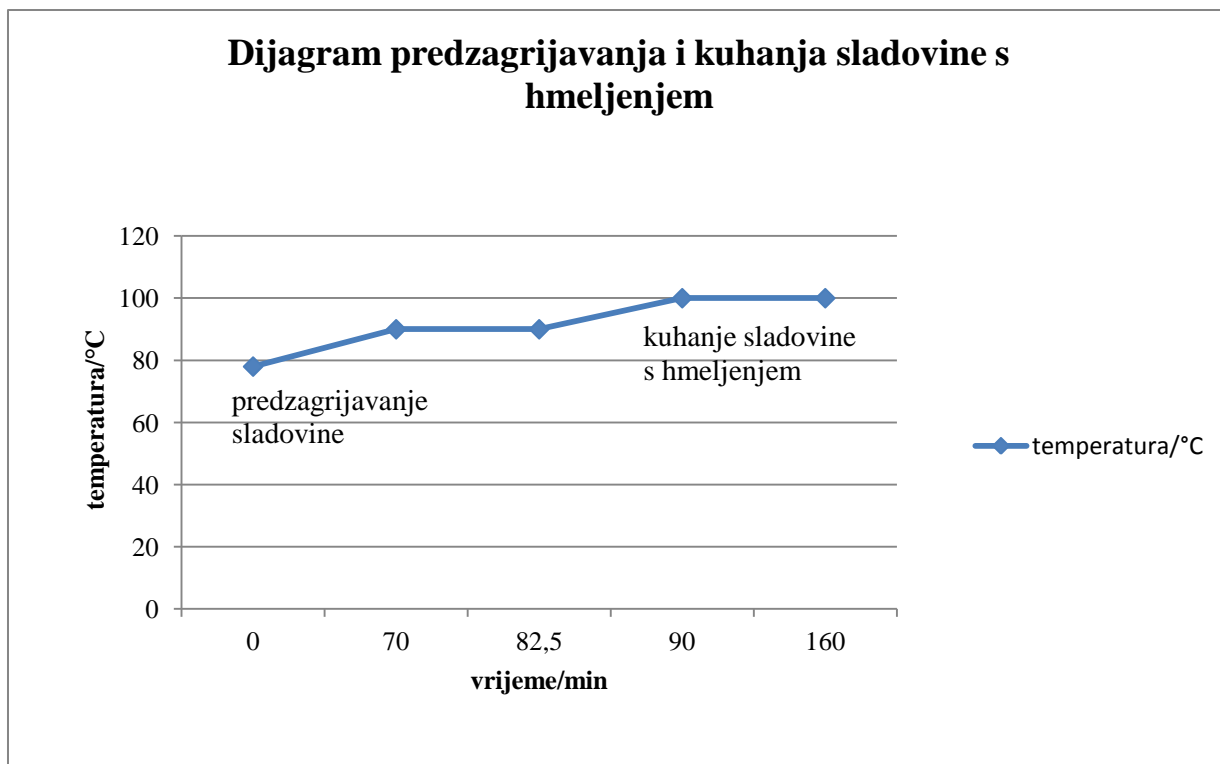
Tablica 3. Lista kuhanja [Autor: Ozren Petrović; Napomena: U tablici su navedene okvirne vrijednosti temperature i vremena u skladu s povjerljivosti podataka]

R. B.	OPERACIJA	TEMPERATURA (u °C)	VRIJEME IZVOĐENJA OPERACIJE (u min)	KOMENTAR
1.	Ukomljavanje slada u kotao Ukomljavanje surogata u kotao	40-45	5-10	
2.	Zagrijavanje do šećerenja	45-75	30	Zakiseljavanje komine
3.	Šećerenje	70-75	15-20	
4.	Zagrijavanje do kuhanja	75-100	30	
5.	Kuhanje	100	5	
6.	Objedinjavanje komine	60-65	10	
7.	Šećerenje 1. pauza	60-65	15-20	Zakiseljavanje komine
8.	Zagrijavanje	65-70	10	
9.	Šećerenje 2. pauza	70-75	15-20	
10.	Zagrijavanje	75-78	5	
11.	Šećerenje 3. pauza	78	5	
12.	Punjenje filtra	-	-	
13.	Predzagrijavanje sladovine	78-90	60-80	Zakiseljavanje sladovine

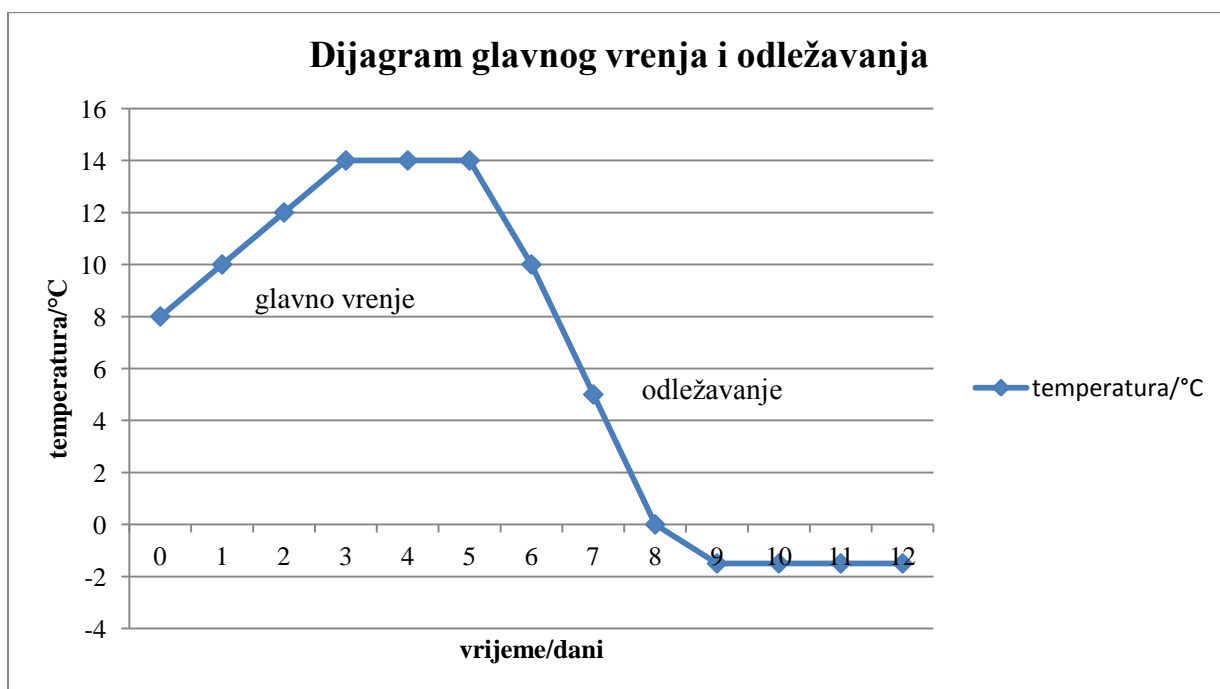
14.	Prebacivanje u kotao sladovine	-	10-15	
15.	Kuhanje sladovine	100	60-90	
16.	Dodavanje hmelja	-	-	
17.	Razrjeđivanje vodom	-	-	
18.	Pumpanje sladovine u dekanter	-	-	



Slika 9. Dijagram ukomljavanja [Izvor: Podaci mjerenja temperature i vremena iz liste kuhanja. Autor: Ozren Petrović; Napomena: Korištene su srednje vrijednosti intervala okvirnih vrijednosti radi tajnosti podataka.]



Slika 10. Dijagram predzagrijavanja i kuhanja sladovine s hmeljenjem. [Izvor: Podaci iz tablice liste kuhanja. Autor: Ozren Petrović; Napomena: Korištene su srednje vrijednosti vrijednosnih intervala temperature i vremena zbog tajnosti podataka.]



Slika 11. Dijagram glavnog vrenja i odležavanja [Autor: Ozren Petrović; Napomena: Korištene su okvirne vrijednosti temperature a ne precizirani rezultati zbog tajnosti podataka.]

Tablica 4. Specifikacija proizvoda – Pivo 1 HGB [Autor: Ozren Petrović; Napomena: Upotrijebljene su okvirne vrijednosti zbog tajnosti podataka.]

SPECIFIKACIJA PROIZVODA – PIVO 1 HGB		
REDNI BROJ	SVOJSTVO	IZMJERENA VRIJEDNOST
1.	Ekstrakt sladovine	12 °P
2.	ABV	5,20 %
3.	pH	4,20
4.	Gorčina	26 BU
5.	Boja	7,50 EBC
6.	Energetska vrijednost	461 kcal/l 1931 kJ/l
7.	Rok trajnosti	6 mjeseci

5. RASPRAVA

5. RASPRAVA

Neki od rezultata su izravno dobiveni mjerenjem vrijednosti pomoću saharometra i pH metra dok se neke vrijednosti očitavaju pomoću sonde i bilježe se automatski elektronskim putem na displeju računala. U Tablici 2. su dani podaci mjerenja dobiveni u varionici gdje se može uočiti da se *High gravity brewingom* dobiva visoko koncentrirana komina s jedan i pol do dva puta većom koncentracijom ekstrakta (15°P,17.5°P,18°P,20°P) u odnosu na standardnu uobičajenu koncentraciju neprevrela ekstrakta u osnovnoj sladovini (11.5°P,12°P). Komina se zakiseljuje s fosfornom kiselinom (H₃PO₄) koja je slaba kiselina i disocira u tri stupnja dajući blago kisele fosfatne spojeve i za razliku od sumporne i kloridne kiseline ne ostavlja tragove sumpora odnosno klora u sladovini kojih se teško riješiti kod kuhanja sladovine i pivu daju priokus na sumpor i klor. U određene pivske brendove dodaje se i mliječna kiselina (CH₃CH(OH)COOH) koja je najidealnija jer je čisto organska slaba kiselina koja se raspada na prirodne organske spojeve sastavljene od ugljika, vodika i kisika (C,H,O). Zbog zakiseljavanja komine ona ima kao i sladovina kiseli pH oko 4.5. do 5.0. Komina se zakiseljava kako bi se dobio pH vrijednosti ispod fiziološke koji je nepovoljan za razvoj većine bakterija, te je to jedna od sretnih okolnosti što mnogi patogeni za ljude ne preživljavaju u pivu. Ostale olakotne okolnosti su udio alkohola od 4-5.5%, antimikrobni sastojci hmelja te anaerobni uvjeti. Ostala mjerenja se provode u varionici putem programskog sučelja iz kontrolne sobe. Dozirne pumpe iz silosa doziraju u mlin čekićar slad iz silosa za usipak prema recepturi unesenoj u memoriju programa (MontElektra) kao i kukuruznu krupicu koja je već pri dovozu dovoljno usitnjena te direktno iz silosa odlazi kroz dozirne usipne vreće u kotao komine.

U Tablici 3. navedena je lista kuhanja i u njoj su navedene sve operacije koje se izvode tokom ukomljavanja i kuhanja sladovine. Pri tom valja napomenuti da su u ovome radu korištene isključivo okvirne vrijednosti zbog politike tajnosti podataka kompanije Zagrebačka pivovara d.d. u kojoj je ovaj rad praktično odrađen. Tako je u tablici liste kuhanja navedeno okvirno vrijeme ukomljavanja kako neslađene komine tako i sladne odnosno združene komine. Ukomljavanje se odvija prema Hindu s dvije komine. Prva komina je neslađena žitarica tzv. surogat, a to je kukuruzna krupica, dok je druga sladna komina. Dijagram ukomljavanja s dvije komine prikazan je na Slici 9. U prvoj fazi ukomljava se neslađena sirovina (kukuruzna krupica) 5-10 min na temperaturi kotla 40-45°C. Zatim se krupica zagrijava na temperaturu 70°C na kojoj se odvija šećerenje uz prisutnost dodanih komercijalnih enzima. Na toj temperaturi se komina surogata zakiseljava fosfatnom odnosno

mliječnom kiselinom. Šećerenje traje oko 15-20 min. Nakon šećerenja krupica se zagrijava na temperaturu 100°C na kojoj se odvija kuhanje. Postepeno zagrijavanje na 100°C traje oko pola sata a samo zadržavanje na 100°C oko 5 min. Sladna komina je cijelo vrijeme trajanja ukomljavanja kukuruzne krupice na dijastatskoj pauzi na 45°C. Nakon što je krupica skuhana prebacuje se u kotao komine 1 ili 2 u kojem se nalazi sladna komina. Komine se u drugoj fazi združuju pri čemu temperatura takve komine poraste na 60-65°C na kojoj se zatim odvija prva pauza poradi šećerenja oko 15-20 min (dolazi do aktivacije β -amilaze) uz zakiseljavanje komine mliječnom odnosno fosfatnom kiselinom. Nakon prve pauze radi šećerenja slijedi postepeno zagrijavanje sa 65°C na 70°C oko 10 min uz zadržavanje na 70-75°C radi šećerenja (2. pauza kod koje dolazi do sinteze α -amilaze). Poslije 2. pauze združena komina se zagrijava do potpunog ošećerenja na temperaturu 75-78°C oko 5 min, uz zadržavanje od 5-30 minuta na temperaturi 78°C radi potpunog šećerenja (3. pauza), zatim se komina pumpom prebacuje u kominski Meura filter. Omjer neslađenih žitarica i vode za ukomljavanje (glavni naljev) je približno 1:4-5, a za sladnu kominu je približno 1:2,5-3. Količinu vode za naknadne naljeve kod ispiranja tropa i razrjeđivanja prvijenca osnovne sladovine određuju odgovorni kuhari ovisno o recepturi i vrijednosti ekstrakta dobivene u prvijencu. Dodaju se do tri naljeva kako ne bi došlo do prevelikog razrjeđenja sladovine. Nakon ukomljavanja slijedi kuhanje sladovine koja ima visoku koncentraciju ekstrakta i u koju se dodaju tekući šećeri (sirupi) u kotao za kuhanje sladovine kao i hmelj iz hmeljnog skladišta preko dozatora te enzimi. Sladovina se najprije predzagrijava na temperaturi 78-90°C oko 60-80 min uz zakiseljavanje sladovine mliječnom odnosno fosfatnom kiselinom. Kuhanje sladovine odvija se na 100°C oko 60-90 min. Dijagram predzagrijavanja sladovine kao i kuhanja sladovine s hmeljenjem dat je na Slici 10. Skuhana sladovina u dekanteru se taloži po slojevima i tu se iz nje izdvaja topli talog (proteinsko-taninski ili kupasti talog ili hmeljni talog). Nakon dekantera sladovina napušta topli blok odnosno varionicu i dolazi u hladni blok tj. vriono-ležni podrum.

U vriono-ležnom podrumu se sladovina najprije hladi na 8°C kolika je temperatura konusa CKF-a koji se prije dovodenja ohlađene sladovine naciepljuje kvascem *Saccharomyces cerevisiae*. Odabiru kvasca za vrenje i doviranje treba posvetiti posebnu pažnju, jer pojačana koncentracija ekstrakta može izazvati promjene u ponašanju kvasca, što se može odraziti na tijek vrenja i doviranja te kvalitetu piva. Zbog toga je uobičajeno najprije sladovinu naciepiti s više kvasca nego u tradicionalnom procesu. Zatim se povećava udjel otopljenog plinovitog kisika u sladovini (1 mgO₂/% ekstrakta). Nakon naciepljivanja, tijekom prvih 3-4h, treba podizati istaloženi kvasac strujom zraka. Koristi se kvasac s malom sposobnošću proizvodnje

nusproizvoda vrenja. Kvasac treba aerirati prije naciepljivanja sterilnim zrakom. Ograničuje se koncentracija ekstrakta u pojačanoj sladovini na 14.5-15%. Zagrebačka pivovara ima proces koji je u potpunosti prilagođen uvjetima kuhanja 20Pl s čime se dobiva pivo sa svim fizikalno-kemijskim parametrima u specifikaciji.

U vriono-ležnom podrumu mjere se pokazatelji prikazani dijagramom na Slici 11. kao što je temperatura koja je za vrijeme glavnog vrenja povišena i iznosi 12-18°C jer se provodi toplo vrenje, kako bi se maksimalno skratilo trajanje glavnog vrenja, koje traje minimalno pet dana u industrijskim pivovarama poput Zagrebačke pivovare koje koriste *High gravity brewing* postupak proizvodnje. Nakon fermentacije slijedi doviranje tzv. hladna maturacija u idućih 3-5 dana na temperaturi -1°C do -2°C. Vrijeme glavnog vrenja i doviranja se maksimalno skraćuje kako bi pivo u roku od tjedan dana od ukomljavanja i kuhanja bilo spremno u tlačnim tankovima (engl. BBT) za otakanje u ambalažu gdje bi tokom toga dana ili sutradan bilo u skladištu i plasirano na tržište.

Osim temperature mjeri se fermentabilni ekstrakt pomoću saharometra odnosno digitalnog refraktometra a koji na kraju glavnog vrenja iznosi 1% dok na kraju doviranja iznosi manje od 0.5%. Osim toga se određuje još broj kvašćevih stanica iz uzorka uzetog tijekom glavnog vrenja i doviranja. Zatim se mjeri količina nastalog CO₂ koji nastaje kao nusprodukt tijekom glavnog vrenja, kao i za vrijeme doviranja, koji se prikuplja, pročišćuje i ukapljuje u boce za komprimirani, ukapljeni CO₂ u sklopu stanice za njegovo prikupljanje koja je u Zagrebačkoj pivovari smještena u sklopu strojarnice. Najvažniji pokazatelji glavnog vrenja i doviranja su diacetil i kisik. Diacetil nastaje u većim koncentracijama na početku glavnog vrenja da bi se krajem glavnog vrenja i tijekom doviranja njegova koncentracija smanjila na manje od 0.15 mg/L na kraju glavnog vrenja odnosno na manje od 0.1mg/L na kraju doviranja. Kvasac svojim metabolizmom sintetizira diacetil(2,3 butandion), kao i acetoin(2,3 pentadion), koji nastaju na početku burnog vrenja kao sekundarni metaboliti kvašćeva metabolizma da bi ih sa završetkom alkoholnog vrenja kvasac ponovo apsorbirao i svojim metabolizmom reducirao u 2,3-butandiol(CH₃CHOHCHOHCH₃) i 2,3 pentandiol(CH₃CHOHCHOHCH₂CH₃). Acetoin i diacetil su tzv. vicinalni diketoni i bitni su nam pokazatelji uspješnosti vrenja i doviranja kako bi vidjeli koliko nam je nastalo viših alkohola uz etanol, a koji su odgovorni za aromu, miris i okus piva uz estere i eterična ulja dobivena iz hmelja koja pivu daju aromu na hmelj. Kisik je također važan pokazatelj jer je u početku kod naciepljivanja CKF-a kvascem poželjan radi njegove aeracije kisikom iz sterilnog zraka. Tijekom ukomljavanja i kuhanja sladovine ona se do hlađenja i dovođenja u konus CKF-a također aerira zrakom, kako bi se obogatila sladovina

otopljenim kisikom, radi boljeg fiziološkog djelovanja kvasca za vrijeme fermentacije fermentabilnih šećera u etanol, CO₂ i toplinu. Nakon nacjepljivanja kisik je nepoželjan i najveći je neprijatelj pivu. Zato njegovu koncentraciju u mladom pivu, a osobito u dozreloom prodajnom pivu treba svesti na najmanju moguću mjeru, stoga je njegova koncentracija na kraju glavnog vrenja i doviranja vrlo mala i iznosi manje od 0.1mg/L.

Nakon glavnog vrenja i doviranja pivo se podvrgava filtraciji kako bi se biološki i koloidno stabiliziralo. Za biološku stabilizaciju najčešće se koristi svječasti filter koji se naplavljuje s dijatomejskom zemljom tzv. *kieselgurom*. Za koloidnu stabilizaciju kojoj se pivo podvrgava u liniji filtracije odmah nakon kieselgur svječastog filtra je PVPP (polivinilpolipirolidon) filter. PVPP nije topiv u niti jednom poznatom otapalu, a u vodi bubri te na sebe selektivno apsorbira sve taninske (polifenolne) spojeve. Dodaje se u grubo filtrirano pivo prije sekundarne filtracije ili se za sekundarnu filtraciju koriste slojnice preparirane s PVPP-om. Najčešće se koristi u kombinaciji sa silikagelom, zbog visoke cijene i samostalno nakon silikagela kao regenerirajući prašak (divergansko sredstvo). Naime, taninski sastojci (polifenoli) se u kiselom mediju vežu na PVPP vodikovim mostovima, a kako ti mostovi pucaju u lužnatom, moguća je regeneracija PVPP s lužinom. Primjena PVPP je ograničena na 50 g/hl piva. Procjena koloidne stabilnosti piva nije jednostavna, a uključuje brojne metode kao što su kvalitativno određivanje udjela proteina i polifenola u odležanom pivu, te određivanje proteinsko-taninskog kompleksa pomoću formalin testa, testa na hladno, alkohol-hladnog testa, testa ubrzanog starenja piva itd. Najčešće se ocjena koloidne stabilnosti piva izvodi na osnovu broja *toplih* dana (Forcing test), tj. zadržavanja nestabiliziranog piva pri 40°C odnosno stabiliziranog na 60°C, dok se pivo ne zamuti do 2 EBC jedinice mutnoće. Najvjerojatnija trajnost piva u stvarnim uvjetima čuvanja dobije se množenjem toplih dana s 40 do 60. Na kraju, može se zaključiti da svi tehnološki postupci i mjere koje sprječavaju kemijske promjene u pivu doprinose njegovoj koloidnoj stabilnosti.

Na kraju treba napomenuti da se svo vrijeme proizvodnje piva *High gravity brewing* postupkom provode kontrole kvalitete od ulaznih sirovina pa sve do gotovog konzumnog piva. Tako se mjere vodljivost, koncentracija CO₂ u pivu, čistoća kvasca kao i svih ulaznih sirovina. Preko programskog sučelja mjere se volumni protoci, koncentracija O₂ u dekarboniziranoj i deaeriranoj vodi. Mjeri se temperatura pomoću sondi u svim fazama proizvodnje te se redovito uzimaju uzorci, koji se daju na analizu u kemijski i mikrobiološki laboratorij. Laboratorijsko osoblje provodi kontrolu kvalitete preko točno propisanih postupaka analize i metoda kojima se u Zagrebačkoj pivovari služe za interna određivanja

kvalitete gotovog proizvoda. Gotovo konzumno pivo daje se i na organoleptičku kontrolu kvalitete, koja se provodi u organoleptičkom laboratoriju po strogo određenom postupku, kako bi se odredila željena aroma tj. okus i miris te izgled, odnosno konzistencija piva koja uključuje i postojanost i stabilnost pjene. Svako pivo nakon što prođe cijelu proceduru proizvodnje i dođe na punjenje gdje se na etiketirki etiketira svojom deklaracijom o proizvodu mora u navedenim podacima na etiketi u potpunosti odgovarati specifikaciji proizvoda za određeni brand piva. Naime pivo u svakoj fazi proizvodnje prolazi strogu kontrolu kako bi se mogao pratiti i kontrolirati svaki korak u proizvodnji i ako dođe do problema odnosno pogreške u pojedinoj fazi proizvodnje, da se može pravovremeno reagirati i zaustaviti daljnju proizvodnju dok se problem ne riješi odnosno greška ukloni. Zato su u svim velikim pivovarama sa industrijskom proizvodnjom koje koriste *High gravity brewing* uvedene specifikacije proizvoda koje gotov proizvod mora sadržavati. Njih se operateri u proizvodnji moraju pridržavati kao i stroge procedure tokom proizvodnje kako bi se parametri navedeni u specifikaciji postigli. Specifikacija proizvoda sadržava podatke od kojih su neki navedeni i na etiketi proizvoda kao što je svojstvo sadržaja ekstrakta sladovine u stupnjevima Plato-a, volumni udio alkohola u konzumnom pivu (ABV) u vol.%, pH piva, gorčina izražena u BU jedinicama, boja u EBC jedinicama te energetska vrijednost izražena u kJ/L i preračunata u kcal/L. Primjer specifikacije proizvoda za brend Ožujsko HGB po navedenim svojstvima prikazan je u Tablici 4.

6.) ZAKLJUČAK

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobivenih eksperimentalnih rezultata možemo zaključiti sljedeće:

1. Kod ukomljavanja HGB piva bitna je kontrola temperature te vrijeme zadržavanja na pojedinim temperaturama poradi šećerenja komine što se postiže infuzijskim ukomljavanjem koje štedi utrošenu energiju i novac. Bitna je i pH koji mora biti kiseo zbog pogodovanja rastu kvasca, a sprečavanju rasta većine ostalih štetnih mikroorganizama kontaminantima piva. Također ukomljavanje s dvije komine od kojih je prva komina surogata (kukuruzna krupica) dodatno pojeftinjuje proizvodnju jer je neslađena žitarica kao što je krupica jeftinija.

2. Kod kuhanja vode se liste kuhanja u kojima su navedene sve važne operacije koje kuhanje obuhvaća. Sladovina se nakon ukomljavanja procjeđuje i razrjeđuje sa tri naknadna naljeva za ispiranje tropa na kominskom Meura filtru. Kuhanje sladovine odvija se na 100°C oko 60-90 min i vrlo je bitno zbog sterilizacije sladovine ali i obogaćivanja piva hmeljem koji u pivu pri kuhanju dodaje. Dodaju se dvije sorte hmelja, gorka i aromatična. Gorka se dodaje za gorčinu na početku kuhanja, a aromatična pri kraju kuhanja i daje pivu karakterističnu hmeljnu aromu.

3. U vriono-ležnom podrumu se dekantirana sladovina hladi na temperaturu 8°C u pločastom izmjenjivaču topline i upumpava u CKF-ove nacijepljene kvascem. Izbor kvasca je vrlo bitan jer se koristi samo kvasac koji je zdrav i u punoj snazi, te kao takav može intenzivno brzo i u potpunosti fermentirati ekstrakt sladovine. Glavno vrenje je ubrzano i skraćeno za nekoliko dana. Temperatura glavnog vrenja iznosi prosječno 12-14°C a doviranja -1 do -2°C. Koristi se hladna maturacija kako bi se istaložio sav eventualno zaostali kvasac i maksimalno smanjilo vrijeme doviranja na svega 3-5 dana.

4. Filtracija je vrlo važna zbog kemijske biološke i koloidne stabilnosti piva. Biološka filtracija odvija se na KG svječastom filtru i tu se uklanjaju ostaci kvasca kao i nakupine proteinsko taninskog taloga iz pivske "deke". Nakon biološke slijedi koloidna stabilizacija koja se odvija na PVPP filtru. Cilj koloidne stabilizacije je uklanjanje svih polifenola iz pive odgovornih za prolaznu i trajnu (starosnu) mutnoću..

5. Najvažniji dio obrade HGB piva je njegovo razrjeđivanje deaeriranom vodom na standardne vrijednosti što se postiže u uređaju zvanom karboblender. U njemu se piva razrjeđuje deaeriranom vodom te se dodatno karbonizira i korigiraju se njezine vrijednosti sljedećih svojstava: udjel alkohola u pivi pomoću slabe pive,boja, gorčina, stabilnost pjene. Razrjeđivanje i korekcija odvija se prema standardima propisanim specifikacijom.

6. Specifikacija je propis koji određuje vrijednosti svojstava gotovog proizvoda, konzumnog piva. U njoj je propisano koliki mora biti ekstrakt slada, udio alkohola u pivi (ABV), jedinice boje i gorčine, kao i pH i energetska vrijednost. Većina podataka iz specifikacije navedena je i na deklaraciji proizvoda.

7. LITERATURA

LITERATURA

1. Marić V., **Tehnologija piva**, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2009.
2. Mijatović I., Matošić M., **Tehnologija vode** (interna skripta), Prehrambeno-biotehnološki fakultet sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, dopunjeno izdanje 2010.
3. Biškupec P., Kovačićek D., Koričan M., Bačurin T., **Protokoli, procedure i propisi standarda za recepture high gravity proizvodnje svijetlog i crnog lager piva Zagrebačke pivovare**, interni materijali, Zagrebačka pivovara, 2014.
4. Priest G. Fergus, Stewart G. Graham, **Handbook of Brewing**, second edition, Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton, London, New York, 2006.
5. **Practical propagation** pdf., MBG/MBAA, 2011. Winter Conference, Kalamazoo MI, SAD, 2011.
6. William Maca, **Yeast storage and fermentation: Effects on Viability and Flavor Production** pdf., Michigan Brewers Guild/MBAA, District Michigan Winter Conference-Kalamazoo MI, SAD, January 13., 2011.
7. W. Fred Ramirez and Jan Maciejowski, Journal of the Institute of Brewing, **Optimal Beer Fermentation** pdf., Vol. 113, No. 3, 2007. University of Colorado at Boulder, SAD, 2007.
8. Pongsawadi Phanomai, Chumpon Phiancharoen, Fritz Briem, Isara Khaola-iead, Markus Jungblut, **Optimisation of an existing yeast management system by integrating new scientific results** pdf., Boonrawd Brewery, Bangkok, Thailand.
9. MB Raines-Casselmann, Ph.D., **Yeast Propagation and Maintenance: Principles and Practices** pdf., New York, SAD, 1998.
10. Moj posao, <http://www.moj-posao.net/Profil-Poslodavaca/19685/Zagrebacka-pivovara-doo/>, (pristupljeno 6.4.2015.)
11. Heineken daltraining Europa, http://www.daltraining.eu/WebHelp/Heinekenbrewing2009.htm#002_Sweet_wort_production/2.4.5_Mash_Filter.htm, (pristupljeno 19.4.2015.)
12. Heineken daltraining Europa, http://www.daltraining.eu/WebHelp/004_Wort_clarification_cooling_and_oxygenation/4.1.6_Breweries_using_hop_pellets_or_extracts.htm#Hot_Wort_Centrifuge, (pristupljeno 19.4.2015.)
13. Heineken daltraining Europa, www.daltraining.eu/WebHelp/Heinekenbrewing2009.htm#006_Fermentation_practice/6.1.2_Fermenters.htm, (pristupljeno 19.4.2015.)
14. Heineken daltraining Europa, http://www.daltraining.eu/WebHelp/009_Bright_beer_preparation/9.2.3_The_choice_of_Filters.htm#Candle_Filter, (pristupljeno 19.4.2015.)

15. Heineken daltraining Europa,
http://www.daltraining.eu/WebHelp/009_Bright_beer_preparation/9.2.5_Beer_stabilizing_filtration..htm#IX_PVPP, (pristupljeno 19.4.2015.)
16. Heineken daltraining Europa,
http://www.daltraining.eu/WebHelp/009_Bright_beer_preparation/9.1.2_Carbonation.htm,
(pristupljeno 19.4.2015.)
17. Bayarea mashers Organization,
<http://www.bayareamashers.org/wp-content/uploads/2013/07/High-Gravity-Brewing-Nov-2012.pdf>
(pristupljeno 25.9.2015.)

POPIS TABLICA I SLIKA

Tablica 1. Karakteristike vode za različite tipove piva.....	11
Tablica 2. Varionica.....	38
Tablica 3. Lista kuhanja.....	38-39
Tablica 4. Specifikacija proizvoda – Pivo 1 HGB	41
Slika 1. Moderni Meura 2001 filter za cijedenje komine i odvajanja sladovine od tropa.....	13
Slika 2. Shema principa rada dekanter centrifuge.....	15
Slika 3. Cilindrično-konusni fermentori (CKF).....	17
Slika 4. Svjećasti KG filter (a) princip djelovanja, b) izgled, c) izgled svijeće.....	21-22
Slika 5. Shema principa rada PVPP filtera.....	23
Slika 6. Haffman-ov karbonator koji se koristi za karbonizaciju pive nakon filtracije u karboblenderu.....	24
Slika 7. Shema <i>High gravity brewing</i> procesa proizvodnje piva od prijema slada i krupice do završetka glavnog vrenja.....	35
Slika 8. Shema <i>High gravity brewing</i> procesa proizvodnje piva od dozrijevanja mladog piva do pasterizacije	36
Slika 9. Dijagram ukomljavanja.....	39
Slika 10. Dijagram predzagrijavanja i kuhanja sladovine s hmeljenjem.....	40
Slika 11. Dijagram glavnog vrenja i odležavanja.....	40