

# Voda u proizvodnji piva

---

Mimica, Lucija

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology / Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:159:927815>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-10**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology and Biotechnology](#)



**Sveučilište u Zagrebu  
Prehrambeno - biotehnološki fakultet**

**Preddiplomski studij Biotehnologija**

**Lucija Mimica**

6933/BT

**VODA U PROIZVODNJI PIVA**

**ZAVRŠNI RAD**

**Predmet: Tehnologija vode**

**Mentor: Prof. dr. sc. Marin Matošić**

**Zagreb, 2019.**

DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

Sveučilište u Zagrebu

Prehrambeno-biotehnološki fakultet

Preddiplomski studij Biotehnologija

Zavod za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo

Laboratorij za tehnologiju vode

## **VODA U PROIZVODNJI PIVA**

Lucija Mimica 6933/BT

**Sažetak:** Pivo sadrži 85-95% vode, što čini vodu jednom od najvažnijih sirovina u proizvodnji piva. Sastav vode utječe na kvalitetu piva, a sadržaj mineralnih tvari određuje vrstu piva. Tehnološka voda koja se koristi za proizvodnju piva mora u fizikalnom, kemijskom i mikrobiološkom smislu odgovarati kvaliteti vode za piće. U prirodnim vodama postoji određena koncentracija otopljenih tvari. Ako voda koja se koristi u proizvodnji piva ne odgovara standardima vode za piće, potrebno je provesti početne obrade vode kako bi se voda dezinficirala, najčešće kloriranjem, te filtraciju na pješćanim filterima, aeraciju i adsorpciju na aktivnom ugljenu kako bi se uklonile povišene koncentracije nepoželjnih tvari. Daljnjom obradom vode, koja uključuje ionsku izmjenu i membranske postupke, može se dobiti voda optimalnih vrijednosti za proizvodnju piva određenih karakteristika.

**Ključne riječi:** voda u proizvodnji piva, obrada vode, tehnološka voda

**Rad sadrži:** 21 stranica, 4 slike, 3 tablice

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u:** Knjižnica  
Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta, Kačićeva 23, Zagreb

**Mentor:** *Prof. dr. sc. Marin Matošić*

**Rad predan: rujna, 2019.**

## BASIC DOCUMENTATION CARD

Final work

University of Zagreb

Faculty of Food Technology and Biotechnology

Undergraduate study Biotechnology

Department of Food Engineering

Laboratory for Water Technology

### **WATER IN A BEER PRODUCTION**

Lucija Mimica, 6933/BT

**Abstract:** Beer contains 85-95% of water, which makes water very important raw material in beer production. Composition of water effects quality of the beer. Water for beer production due to physical, chemical and microbiological characteristics must comply with water for human consumption. There is certain amount of dissolved matter present in natural water. If water for beer production does not match standards for drinking water, it is necessary to make preliminary water treatments to disinfect water, usually with chlorine dioxide, and to treat it by filtration, adsorption on activated carbon, aeration for the removal of certain components. Secondary water treatments, such as ion exchange and membrane technology, are used to obtain water for production of wanted quality and type of beer.

**Keywords:** water in beer production, water treatment, industrial water

**Thesis contain:** 21 pages, 4 figures, 3 tables

**Original in:** *Croatian*

**Final work in printed and electronic (pdf format) version is deposited in:** Library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, Kačićeva 23, Zagreb

**Mentor:** *Ph D. Marin Matošić, Full Professor*

**Thesis delivered: September, 2019.**

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. IZVORI VODE.....	2
3. EVALUACIJA I ANALIZA VODE.....	4
3.1 UTJECAJ RAZLIČITIH IONA.....	6
3.1.1 TVRDOĆA VODE.....	6
3.1.2 ALKALITET VODE.....	6
3.2 ORGANSKE KONTAMINACIJE.....	6
4. VODA U RAZLIČITIM PROCESIMA.....	7
4.1 FILTRIRANA VODA.....	7
4.2 SERVISNA VODA.....	7
4.3 VODA ZA VARENJE PIVA.....	7
4.3.1 UTJECAJ RAZLIČITIH IONA.....	7
4.4 VODA ZA RAZRJEĐIVANJE.....	10
4.5 NAPOJNA VODA KOTLA.....	10
5. PRIPREMA VODE ZA PROIZVODNJU PIVA.....	12
5.1. POČETNA OBRADA VODE.....	12
5.1.1 DEZINFEKCIJA VODE.....	12
5.1.2 AERACIJA I OKSIDACIJA.....	14
5.1.3 FILTRACIJA.....	14
5.1.4 FLOKULACIJA, FLOTACIJA I TALOŽENJE.....	16
5.1.5 OTPLINJAVANJE.....	16
5.2 SEKUNDARNA OBRADA VODE.....	16
5.2.1 TALOŽENJE VAPNOM.....	17
5.2.2 NEUTRALIZACIJA BIKARBONATA KISELINAMA.....	18
5.2.3 IONSKA IZMJENA.....	18
5.2.4 MEMBRANSKI PROCESI.....	19
6. ZAKLJUČAK.....	20

## **1.Uvod**

Pivo je pjenušavo osvježavajuće piće s malim udjelom alkohola i karakterističnom aromom po hmelju dobiveno alkoholnim vrenjem pivske sladovine pomoću pivskog kvasca.

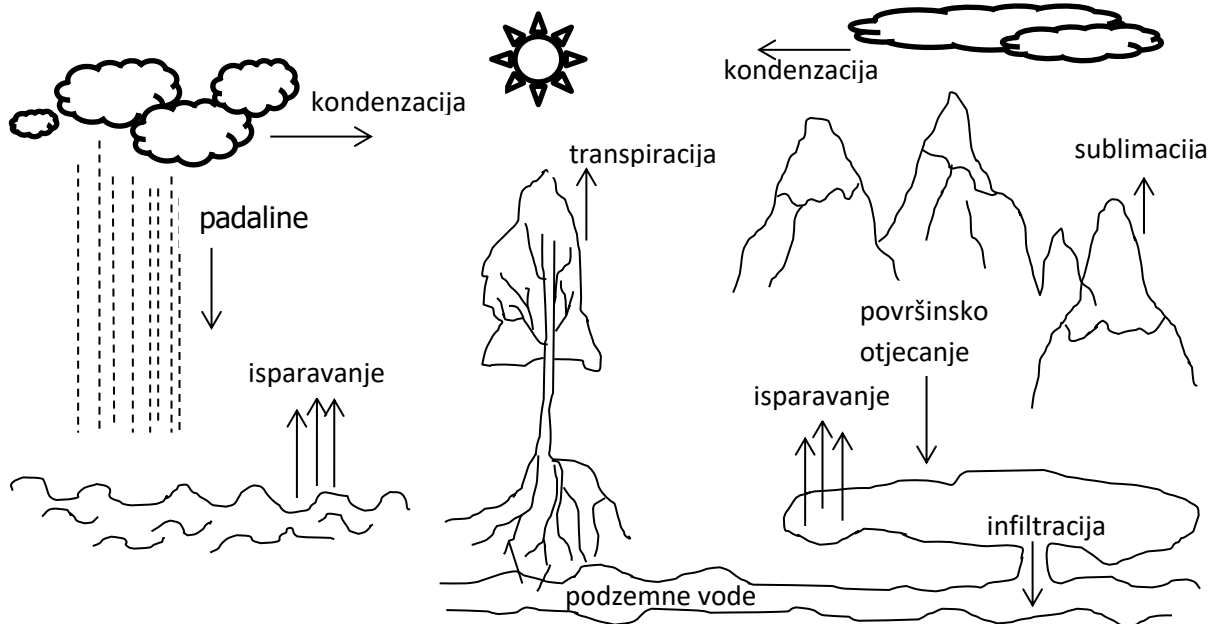
Voda je najvažnija sirovina u proizvodnji piva jer pivo sadrži 85 – 95 % vode.

Karakteristike različitih vrsta piva su uvjetovane sastavom vode koja se koristi u njihovoj proizvodnji. Ako nam takva voda nije dostupna, potrebno ju je obraditi kako bi se postigla svojstva vode koja su prihvaćena kao standard za određenu vrstu piva.

Otopljene soli koje se kao sastavni dio nalaze u vodi uvelike utječu na okus piva, što nije rezultat neposrednog već posrednog djelovanja na enzimске i koloidno kemijske reakcije koje se događaju tijekom proizvodnje piva (Janson, 1996). Kvaliteta pivarske vode je jedan od najvažnijih čimbenika dobre kvalitete piva. U pivarstvu se obično koristi voda iz gradskog vodovoda ili voda iz obližnjih izvora odnosno bunara.

## 2. Izvori vode

Izvore vode možemo podijeliti na površinsku vodu i izvornu vodu iz podzemlja. Voda u prirodi kruži kroz vodeni ciklus. Isparava s površine zemlje, biljaka, slatkih voda i mora, formiraju se oblaci i u obliku kiše, snijega i drugih padalina, vraća se na zemlju kao površinska ili podzemna voda.



Slika 1 Kruženje vode u prirodi

### Površinska voda

Površinska voda sklonija je sezonskim promjenama od podzemnih voda. Sakuplja se u rijekama, jezerima i branama. Izložena je raznim kontaminacijama, životinjskim i biljnim otpadom, poljoprivrednim materijalima kao što su pesticidi i herbicidi, različitim otpadima sa smetlišta i industrije. Čak i kiše sadrže sumporne i dušikove okside, prašinu, čađu, pelud, mikrobe i industrijske otpatke.

### Podzemna voda

Izvorska voda iz podzemlja zaštićena je od površine zbog čega je manje izložena promjenama te sadrži manje kontaminanata i mikroorganizama. Ovisno o hidrogeološkom području, prolazi kroz različite stijene te se na taj način filtrira, no sadrži i različite otopljene soli, zbog čega može biti i tvrda i meka, za razliku od površinske vode koja je uglavnom meka. Primjerice, voda koja prolazi kroz kredu ili vapnenac obogaćena je kalcijevim bikarbonatom. Kada voda dođe do nepropusnog sloja, propusni sloj postaje obogaćen vodom te na taj način nastaju vodonosnici koji su izvor vode. U istom području može biti dostupna voda s različitim karakteristikama (Rudin, 1976).

Voda iz tvrtki za proizvodnju vode je visokog standarda, čistoće, odnosno pogodna je za ljudsku potrošnju i sigurna je za piće, skupa je i nije nužno adekvatna za korištenje u proizvodnji piva (Baxter and Hughes, 2001). Njena struktura nije stalna, za razliku od

vlastitih izvora pivovara, čija je upotreba jeftinija, a sastav ujednačeniji. Također, manja je vjerojatnost da će se izvor potrošiti.

Ovisno o karakteristikama vode, nastajale su različite vrste piva. Tako je svako područje postalo poznato po svojoj vrsti koja je definirana sastavom vode koja je dostupna za pivarstvo. Primjerice, Pilsen, poznat po svojem jako svijetlom i blagom pivu koje je uvjetovano jako mekom vodom, do 4 °nj i vrlo svijetlim sladom. Dok Burton-on-Trent, s ekstremno tvrdom vodom bogatom kalcijevim sulfatom je poznat po pale aleovim-a, Munchen po tamnim lagerima i Dublin sa sličnom mekanom vodom po stout-ovima. Pivovare mogu primati vodu iz različitih izvora, što se može mijenjati bez upozorenja. Izvori vode mogu varirati po sadržaju soli, što se može mijenjati između dana i noći, iz godine u godine i između godišnjih doba (Rudin, 1976; Byrne, 1990). Međutim, danas pivovare mijenjaju sastav vode koji koriste, kako bi dobili vodu željenog sastava za pivo koje proizvode.

Tablica 1 Tipovi voda za proizvodnju piva (Focke i sur., 2007)

<b>Parametri</b>	<i>Plzen</i>	<i>Munchen</i>	<i>Dortmund</i>	<i>Beč</i>
<b>Ukupna tvrdoća, °nj</b>	1,6	14,8	41,3	38,6
<b>Karbonatna tvrdoća, °nj</b>	1,3	14,2	16,8	30,9
<b>Nekarbonatna tvrdoća, °nj</b>	0,3	0,6	24,5	7,7
<b>Ca tvrdoća, °nj</b>	1	10,6	36,7	22,8
<b>Mg tvrdoća, °nj</b>	0,6	4,2	4,6	15,8
<b>Sulfati (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), mg/l</b>	5,2	9,0	290	216
<b>Kloridi (Cl<sup>-</sup>), mg/l</b>	5,0	1,6	107	39
<b>Alkalitet mmol/l</b>	0,9	10,6	5,7	22,1



### 3. Evaluacija i analiza vode

Većina regija ima striktnu regulaciju koje se moraju osigurati prije nego se voda klasificira kao voda prikladna za ljudsku potrošnju, te one označavaju minimalni standard za vodu koja se koristi za proizvodnju piva (Bak i sur., 2001; Baxter i Hughes, 2001; Moll, 1995). Zahtjevi se mogu grupirati kao estetski- boja, zamućenost, miris i okus, mikrobiološki standardi – prisutnost patogena, razina organskih i anorganskih materijala te prisutnost radioaktivnih materijala. Prema Pravilniku o temeljnim zahtjevima za pivo i pivu slične proizvode (NN 6/98), tehnološka voda koja se koristi za proizvodnju piva mora u fizikalnom, kemijskom i mikrobiološkom smislu odgovarati kvaliteti vode za piće, čije karakteristike su propisane Pravilnikom o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN 125/13).

Tablica 2: važni parametri za analizu vode

Miris	Alkalitet
Okus	Na
Boja	Ca
Zamućenost	Mg
Temperatura	HCO <sub>3</sub>
Provodljivost	Cl
KMnO <sub>4</sub> , potrošnja	SO <sub>4</sub>
Fe	NO <sub>3</sub>
Mn	SiO <sub>2</sub>
As	NO <sub>2</sub>
NH <sub>4</sub>	THMs

Zbog različitih fluktuacija, potrebno je vršiti analize barem tijekom jedne godine, kako bi se ustanovile promjene tijekom godišnjih doba.

Tablica 3 Direktiva o kakvoći vode za piće 98/83/EC

#### Mikrobiološki parametri

Parametar	Vrijednost parametra
Escherichia coli	0/250 ml
Enterokoki	0/250ml
Pseudomonas aeruginosa	0/250ml
Broj kolonija pri temperaturi od 22 °C	100/ml
Broj kolonija pri temperaturi od 37 °C	20/ml

#### Kemijski parametri

Parametar	Vrijednost parametra	Jedinica
Akrilamid	0,10	µg/l
Antimon	5,0	µg/l
Arsen	10	µg/l
Benzen	1,0	µg/l
Benzopiren	0,010	µg/l

Bor	1,0	mg/l
Brom	10	µg/l
Kadmij	5,0	µg/l
Krom	50	µg/l
Bakar	2,0	mg/l
Cijanid	50	µg/l
1.2-dikloroetan	3,0	µg/l
Epiklorohidrin	0,10	µg/l
Fluorid	1,5	mg/l
Olovo	10	µg/l
Živa	1,0	µg/l
Nikal	20	µg/l
Nitrat	50	mg/l
Nitrit	0,50	mg/l
Pesticidi	0,10	µg/l
Pesticidi – ukupno	0,50	µg/l
Policiklički aromatski ugljikohidrati	0,10	µg/l
Selen	10	µg/l
Tetrakloreten i trikloreten	10	µg/l
Trihalometan – ukupno	100	µg/l
Poli(vinil) klorid	0,50	µg/l

#### Indikatorski parametri

Parametar	Vrijednost parametra	Jedinica
Aluminij	200	µg/l
Amonijak	0,50	mg/l
Klorid	250	mg/l
Clostridium perfringens (uključujući spore)	0	Broj/100ml
Boja	Prihvatljiva za potrošače i bez nenormalnih promjena	
Vodljivost	2,500	µS cm <sup>-1</sup> pri temperaturi od 20 °C
Koncentracija vodikovih iona	>6,5 i >9,5	pH jedinice
Željezo	200	µg/l
Mangan	50	µg/l
Miris	Prihvatljiv za potrošače i bez nenormalnih promjena	
Nemogućnost oksidacije	5,0	mg/l O <sub>2</sub>
Sulfat	250	mg/l
Natrij	200	mg/l
Okus	Prihvatljiv za potrošače i bez nenormalnih promjena	
Broj kolonija pri temperaturi od 22 °C	Bez nenormalnih promjena	
Koliformne bakterije	0	Broj/100 ml
Ukupni organski ugljik (TOC)	Bez nenormalnih promjena	
Mutnoća	Prihvatljiva za potrošače, bez nenormalnih promjena	

## Radioaktivnost

Parametar	Vrijednost parametra	Jedinica
Tritij	100	Bq/l
Ukupna indikativna doza	0,10	mSv/godina

### 3.1 Utjecaj različitih iona

Posebnu pozornost treba obratiti na amonijak i dušik, koji su često indikatori kontaminacija otpadom organskih tvari. Razina nitrata koja široko varira, ukazuje na to da su izvori vode kontaminirani nitratom iz ispranih poljoprivrednih gnojiva. Postoji opasnost da tijekom proizvodnje piva ili u tijelu potrošača, može doći do redukcije nitrata u nitrit, što može biti kancerogeno. Toksične ione, kao što su bakar, cink, mangan i željezo treba očigledno limitirati, no potrebni su u tragovima za pivski kvasac, a mogu se dobiti iz pivskih žitarica. Minimalna razina za ukupnu tvrdoću i alkalitet uvjetovani su time da se izbjegne korozija u cijevima. Fluor se često dodaje pitkoj vodi, ali u količinama koje nisu štetne i nemaju utjecaj na fermentaciju (Briggs i sur., 2004).

#### 3.1.1 Tvrdoća vode

Tvrdoća vode je mjera za ukupni sadržaj kalcijevih i magnezijevih iona. Ovisno ima li kalcijevih i magnezijevih iona više ili manje, voda može biti tvrđa ili mekša. Da bismo mogli izražavati tvrdoću vode i uspoređivati vode različitih tvrdoća, ustanovljeno je više vrsta jedinica za tvrdoću vode. Osim SI jedinice koja bi bila mol/L, tvrdoća se često mjeri u stupnjevima. Postoje tako njemački, francuski i engleski stupnjevi. Najčešće koristimo njemačke stupnjeve, a 1°nj iznosi 10 mg CaO/L. Obzirom na tvrdoću, vode dijelimo na meke (do 9 °nj), umjereno tvrde (9-18 °nj), tvrde (18-26 °nj) i vrlo tvrde vode (iznad 26 °nj) (Mijatović i Matošić, 2007).

#### 3.1.2 Alkalitet vode

Alkalitet vode je njezin kiselinsko neutralizirajući kapacitet. To je zapravo suma svih prisutnih baza u vodi koje mogu reagirati s kiselinom. Alkalitet mnogih prirodnih voda je primarno funkcija karbonata, hidrogenkarbonata i hidroksida prisutnih u vodi i uzet je kao mjera koncentracije istih. Izmjerena vrijednost može uključivati borate, fosfate, silikate i druge baze ako su ove prisutne, ali se prisutnost navedenih soli kod određivanja alkaliteta uglavnom zanemaruje (Mijatović i Matošić, 2007).

### 3.2 Organske kontaminacije

Akrlamid, vinil, klorid i epiklorohidrin su toksične tvari koje se upotrebljavaju u proizvodnji organskih polimera te njihova prisutnost ukazuje na neadekvatne postupke zbrinjavanja. Aldrin, dieldrin, heptaklor i heotaklor epoksid su insekticidi ili njihovi metaboliti. Neki policiklički aromatski ugljikovodici su kancerogeni, a uz njih i halogenirani ugljikovodici (trihalometani) donose nepoželjne okuse i mogu biti toksični. THM (trihalometani) mogu biti ostaci industrijskih otapala ili mogu proizaći iz organskih materijala u vodi koja je dezinficirana kloriranjem. Također, mogu nastati tijekom obrade vode u pivovarama. (Briggs i sur., 2004).

## **4. Voda u različitim procesima**

Kao što je već spomenuto, voda koja se koristi u proizvodnji piva treba biti u skladu sa standardima pitke vode kao što su WHO (World Health Organization) zahtjevi, direktiva Europske Unije za pitku vodu, FDA (Federal Drug Administration) zahtjevi ili ekvivalentni službeni standardi. Uvijek treba obratiti pozornost na dva područja kada odabiremo kakva voda nam treba za upotrebu: zahtjevi procesa te integritet materijala koji su u kontaktu s vodom, što se većinom odnosi na taloženje kamenca i koroziju. Smjesa otopljenih supstanci koja je prikladna za vodu koja se koristi za kuhanje se razlikuje od one koja se koristi za razrjeđivanje, a pogotovo od vode koja se koristi za čišćenje ili vodu za napajanje kotla.

### **4.1 Filtrirana voda**

Filtrirana voda adekvatna je za čišćenje. Ako vodu ne zagrijavamo, nema rizika od taloženja kamenca. Postoji ograničenje u količini klora, koje ne smije prelaziti 100 ppm (mg/l) kako bi se izbjegla korozija nehrđajućeg čelika.

### **4.2 Servisna voda**

Servisna se voda koristi kada vodu zagrijavamo, ali je ne upotrebljavamo u procesu proizvodnje piva. Primjer je CIP (Clean In Place) čišćenje i završno ispiranje pakirajućih ambalaža. Bitno je da je karbonatna tvrdoća niska kako bismo izbjegli taloženje kamenca koje može dovesti do blokiranja mlaznica u čistaču boca. Zbog korozije nehrđajućeg čelika, koncentracija klora je ograničena na 50 ppm. Ako vruća servisna voda započne koroziju na jednom mjestu, ista voda može imati utjecaj na ostale dijelove nehrđajućeg čelika koje dođe u dodir s tom vodom, čak i kad nije vruća, zbog otopljenog željeza u vodi. Također, servisna voda ne smije biti mikrobiološki kontaminirana.

### **4.3 Voda za varenje piva**

Kvaliteta vode za varenje je jako važna obzirom da voda čini više od 90% sastava piva. Na kvalitetu piva također značajno utječe i sadržaj pojedinih iona u vodi. Prilikom prolaza kroz zemljinu koru voda otapa različite soli koje mogu kasnije u procesu proizvodnje piva stupati u reakcije sa sastojcima slada ili biti neutralne (Kunze, 1994).

#### **4.3.1 Utjecaj različitih iona**

Ioni prisutni u vodi za varenje piva imaju širok opseg utjecaja na proizvodnju piva i kvalitetu proizvoda (Bak i sur., 2001; Comrie, 1967; Moll, 1995).

#### **Kationi**

Kalcij tijekom kuhanja slada reagira s fosfatnim puferom iz slada, utječući na pH. Kako bi enzimi radili, potrebna je optimalna pH vrijednost od 5.2-5.4. Kalcijevi ioni stabiliziraju  $\alpha$ -amilazu tako da reagirajući s fosfatima, peptidima i proteinima, korisno smanjuje pH-vrijednost sladovine. Prije više od 100 godina, Kolbach je smislio empirijsku formulu koja određuje raste li pH vrijednost ili pada. To nazivamo djelomičnim alkalitetom, a definiran je prema formuli:

$$RA = m - \frac{Ca + 0.5Mg}{3.5}$$

gdje je RA = rezidualni alkalitet, ppm CaCO<sub>3</sub>

m = m-alkalitet, ppm CaCO<sub>3</sub>

Ca = koncentracija kalcija, ppm CaCO<sub>3</sub>

Mg = koncentracija magnezija, ppm MgCO<sub>3</sub>

Kad je djelomični alkalitet nula, znači da nema pH utjecaja. Pozitivan djelomični alkalitet vodi povećanju pH-vrijednosti, a negativan smanjenju. Danas se u većini slučajeva umjetno zakiseljava dodatkom mliječne kiseline ili anorganskih kiselina, kako bi se namjestio pH. Kiseli uvjeti reduciraju boju sladovine, iskorištenje hmelja i pomažu smanjenju okusa čepa. Kalcijevi ioni pomažu u stvaranju toplog taloga i flokulaciju kvasca, no imaju mali utjecaj na okus. Sadržaj kalcija tijekom ukomljavanja i ispiranja može se regulirati doziranjem kalcijevog klorida ili kalcijevog sulfata.

Kalcij je važno imati u suvišku i kako bi se olakšalo taloženje oksalata, uz pomoć niske temperature. Ako se ne uklone, kristali oksalata uzrokuju pjenjenja u konačnom produktu, no ispravni sastav vode za varenje će spriječiti nastajanje ugljičnog dioksida i ukloniti problem. Zaključak je da je poželjno imati vodu za varenje s negativnim djelomičnim alkalitetom te suviškom kalcija.

Magnezijevi ioni su potrebni kao hrana kvascima zbog raznih enzima, kao što je primjerice piruvat dekarboksilaza. S obzirom da su magnezijeve soli topljivije nego kalcijeve, potrebna je dvostruka količina magnezijevih iona da bi se postigao jednak utjecaj na pH kao kod kalcijevih iona. Visoka koncentracija magnezijevih iona nije tipična, i maksimalna koncentracija koja je propisana iznosi 30 mg/l zbog toga što visoke koncentracije daju kiseo ili gorak okus pivu.

Natrijevi ioni mogu dati kiseo/slani okus u visokim koncentracijama, većim od 150 mg/l što je preporučena maksimalna koncentracija. Natrijeve soli su jako topljive, pa ne uzrokuju taloženje fosfata. Obzirom da nema interakcije s fosfatnim puferom, ne uzrokuju promjenu pH-vrijednosti. Natrijev klorid se dodaje u sladovinu u koncentraciji od 75 – 150 mg/l kako bi se povećala punoća okusa i određena slatkoća. Ponekad se umjesto njega koristi kalijev klorid koji uz niske koncentracije postiže manje kiseo okus. Višak kalijevih iona može imati laksativna djelovanja i dodati slani okus.

Vodikovi i hidroksilni ioni su uvijek prisutni u vodi, i njihova ekvimolarna količina uzrokuje neutralan pH. Kako se voda zagrijava i temperatura povećava, tako raste koncentracija vodikovih iona, a pH opada.

Željezo(II) i željezo(III) ioni se mogu pojaviti u otapalu kao željezo bikarbonat ili u kompleksu s organskim materijalima. Voda koja sadrži željezo je nepoželjna kod proizvodnje piva, jer se može taložiti kao mulj nakon oksidacije, kao crveno-smeđi hidratizirani željezov hidroksid. Tako može blokirati cijevi, filtre, kolone ionskih izmjenjivača, opremu za reverznu osmozu i dr. Željezo može donijeti tamnu boju sladovini i pivu zbog interakcije s fenolnim

spojevima iz slada i hmelja te prenijeti metalni okus na pivo, zamutiti sladovinu i inhibirati kvasac. Vjerojatno zbog sposobnosti iona da kataliziraju oksidacije i redukcije, stvaraju замуćenja i nestabilnost okusa. Željezni ioni su bezopasni za kvasce u koncentraciji manjoj od 1 mg/l, no zbog svih loših djelovanja željeza, preporučuje se koncentracija ispod 0,1 mg/l. Uobičajeno je smanjiti koncentraciju željeza u ranijoj fazi obrade vode zbog svih teškoća koje ono uzrokuje.

Bakar je predstavljao puno veći problem dok ga u cijevima i posuđu nije zamijenio nehrđajući čelik, pa je sve manje otopljena bakra u pivovarama. Drugi izvor bakra su stari fungicidi bazirani na bakru koji se dodaju hmelju. Bakrovi ioni su toksični i mutageni za kvasac, koji se zatim gomila i stvara tzv. kvašćevu slabost. Bakrovi ioni kataliziraju oksido-redukcijske reakcije i njihova prisutnost uzrokuje nestabilnost okusa i замуćenja u pivu. Maksimalna dopuštena koncentracija u pivu je 0,1 mg/l.

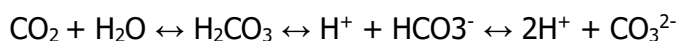
Iako se koncentracije manganovih iona u pivu kreću između 0,2 i 0,5 mg/l, ipak je potreban u tragovima, kao i željezo i bakar, kao hrana za kvasac. Zbog oksidacijsko-redukcijske sposobnosti uzrokuje štetna djelovanja na okus i koloidnu stabilnost piva. Teže ga je ukloniti od željeza.

Amonijak u vodi je indikator kontaminacije truljenja organskog materijala i njegova maksimalna koncentracija bi trebala biti 0,5 mg/l. U proizvodnji piva najčešće se pojavljuje u obliku amonijevih iona. Ovaj jako topljiv plin je toksičan, a može lako izaći iz rashladne opreme.

Ako se cink nalazi u primjetnim količinama u vodi za varenje piva, to je najčešće znak da je došlo do njegova prijenosa prilikom transfera ili skladištenja. Visoke koncentracije u podzemnim vodama nisu uobičajene. U visokim koncentracijama može biti toksičan, te je njegova dozvoljena koncentracija u pitkoj vodi 5 mg/l. Visoke koncentracije su štetne za kvasac, no male količine su esencijalne. Često su koncentracije cinka u sladovini nedovoljne kako bi održavale fermentaciju. U tom slučaju, moguće ga je nadomjestiti dodatkom cinkovog klorida u koncentracijama od 0,15 – 0,2 mg/l.

## **Anioni**

Bikarbonatni ( $\text{HCO}_3^-$ ) i karbontatni ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) ioni nastaju hidratiziranjem ugljikovog dioksida.



Skoro svaka voda sadrži određenu količinu vezanog ugljikovog dioksida i bikarbonata. Bikarbonat puferira svaku kiselinu, i prije nego se doda neka kiselina kako bi se smanjio pH, bikarbonat se treba ukloniti. Također, može biti odgovoran za nastajanje sloja vapna na čeličnim cijevima, što štiti cijevi od korozije. No, to je sad od manje važnosti obzirom da su cijevi većinom od nehrđajućeg čelika. Visoka razina bikarbonatnih iona neželjeno povećava pH tijekom ukomljavanja i ispiranja komine te tijekom otapanja hmeljnih sirovina. Bilo bi dobro da koncentracija bikarbonatnih iona u sladovini ne prelazi 50 mg/l.

Sulfatni ioni su uz kalcijeve i magnezijeve ione najzastupljeniji u trajno tvrdoj vodi. Pridonose suhom i gorćem okusu piva, što se balansira dodatkom određene količine kloridnih iona. Kvašćev metabolizam proizvodi sulfate, kao i hidrogen sulfid, sumporov dioksid te ostale

supstance koje doprinose aromama piva kod kojih se koristi voda bogata sulfatima. Klasičan primjer je "Burton nose", ale piva pivovare Burton-upon-Trent. Prihvatljiva koncentracija sulfata je između 10 i 250 mg/l.

Kloridni ioni se pojavljuju u visokoj koncentraciji u slanoj vodi. Visoke koncentracije ograničavaju flokulaciju kvasca koja olakšava izdvajanje kvaščeve biomase, no poboljšavaju jasnoću i koloidnu stabilnost piva. Doprinosu zrelosti karaktera piva, koji obiluje punoćom okusa. Omjer klorida i sulfata pomaže nam u regulaciji slatko/gorkog okusa piva. Pivo koje u sebi sadrži veću količinu kloridnih iona, ima blaži okus.

Nitratni ioni se u anaerobnim uvjetima mogu reducirati u nitritne ione koji su toksični za stanice kvasca te prekidaju proces fermentacije. Zabrinutost je time veća, što se povećao udio nitratnih iona u podzemnim vodama. Najčešće je to posljedica ostataka poljoprivrednog gnojiva ispranog s površine tla koje odlazi u bunare koji su izvori vode, ali i kanalizacije te truljenja organskih tvari. Čak i kad je dušik prisutan u obliku amonijevih iona, treba biti oprezan, jer se u tlu oksidiraju do nitrata. Maksimalne koncentracije nitratnih i nitritnih iona u vodi koja se koristi za proizvodnju piva trebaju biti niže od onih u vodi za ljudsku potrošnju, zato što se nitratni ioni dodaju sladovini iz hmelja. Postoji zabrinutost da i bakterijske kontaminacije mogu reducirati nitrat do nitrita. Osim što su toksični, nitritni ioni mogu davati obojenja s taninom te povećati broj potencijalno kancerogenih nitrozamina.

Obzirom na pH-vrijednost ukomljavanja, sladovine i piva, fosfat je najčešće prisutan kao dihidrogenfosfatni ion ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ). Većina fosfata u pivu je dobivena iz slada, iako fosforna kiselina ili kisele fosfatne soli se mogu dodati kako bi se podesio pH ili oslobodio ugljikov dioksid iz vode bogate bikarbonatom. Fosfati su važni puferi u pivarstvu i interakcija kalcijevih iona i ostalih supstanci s fosfatima, korisno snižava pH tijekom ukomljavanja slada i kuhanja sladovine s hmeljom.

Silikatni ioni u većoj količini nepovoljno utječu na tijek vrenja jer se apsorbiraju na površini kvasca, a mogu uzrokovati i koloidno zamućenje piva zbog koagulacije bjelančevina i tako prouzročiti probleme sa stabilnošću piva.

Fluoridni ioni se pojavljuju u nekim podzemnim vodama, ali rijetko u toksičnim količinama. Njegova gornja granica kod pitkih voda iznosi čak 1,5 mg/l i nema nekih zapaženih utjecaja na proizvodnju piva.

#### **4.4 Voda za razrjeđivanje**

Važno je da količina kalcija u vodi za razrjeđivanje nije veća od one u koncentriranom pivu koje se razrjeđuje, kako bi se izbjeglo taloženje oksalata. Postoje i stroge odredbe što se tiče sadržaja kisika, koji treba biti manji od 20 ppb, kao i THM-a, čija koncentracija ne smije biti viša od 10  $\mu\text{g/l}$ . Jako je važna mikrobiološka ispravnost ove vode, zato što je nije nužno kuhati pa je treba dobro dezinficirati.

#### **4.5 Napojna voda kotla**

Za kotao je važno da je napojna voda adekvatne kvalitete i bez tvrdoće. Najekonomičnija metoda za dobivanje dobre napojne vode kotla je iskorištavanje kondenzata, jer kondenzat najčešće sadrži jako malo minerala a time je i bez tvrdoće. Važno je da je sadržaj  $\text{HCO}_3^-$

manji od 50ppm (izražen kao  $\text{CaCO}_3$ ) , inače intenzivno zagrijavanje u kotlu vodi do formiranja  $\text{NaOH}$  i  $\text{CO}_2$  iz  $\text{NaHCO}_3$ .  $\text{CO}_2$  će biti korozivan i moguće uništiti kotao. Mineralizacija napojne vode kotla utječe i na učestalost propuhivanja, a time i na efikasnost kotla. Vruća voda za varenje također se može iskoristiti, ako je primjereno tretirana kako bi se uklonila tvrdoća. To može pomoći u očuvanju odgovarajućeg alkaliteta i štednji energije. Napojnu vodu kotla potrebno je i deaerirati kako bi sadržaj kisika bio ispod 20 ppb. Treba je primjereno uvjetovati natrijevim hidroksidom kako bi se podesio pH, fosfatom kako bi se preventivno smanjila tvrdoća i natrijevim bisulfitom za uklanjanje kisika. Točan sadržaj vode za varenje i napojne vode kotla ovisi o tlaku i veličini kotla (Bamforth, 2006).



## 5. Priprema vode za proizvodnju piva

Mineralne tvari iz vode predstavljaju tek neznatan dio ekstrakta piva (0,3-0,5 g/l), ali one izrazito utiču na ukus piva. Mineralne tvari vode utječu neposredno svojim utjecajem na enzimске i koloidno-kemijske reakcije, do kojih dolazi u toku procesa proizvodnje piva. Kvaliteta pivarske vode je jedan od najvažnijih čimbenika dobre kvalitete piva. Priprema vode za proizvodnju piva uključuje procese kao što su deferizacija i demanganizacija aeracijom na pješčanim filterima, adsorpcija na aktivnom ugljenu, dekarbonizacija, demineralizacija vode ionskim izmjenjivačem, neutralizacija bikarbonata kiselinama, membranski postupci, uklanjanje arsena iz vode, otplinjavanje i dezinfekcija vode.

### 5.1. Primarna obrada vode

U nekim slučajevima potrebna je samo početna obrada voda koje uključuje aeraciju, oksidaciju, taloženje (sa i bez dodavanja koagulanata i flokulacijskih agenasa), flotacija, filtracija i sterilizacija. Neke od ovih metoda obrade se mogu koristiti više puta, npr. sterilizacija. Primarna obrada vode služi kako bi voda koju koristimo bila u skladu s vodom koja je propisana za ljudsku upotrebu.

#### 5.1.1 Dezinfekcija vode

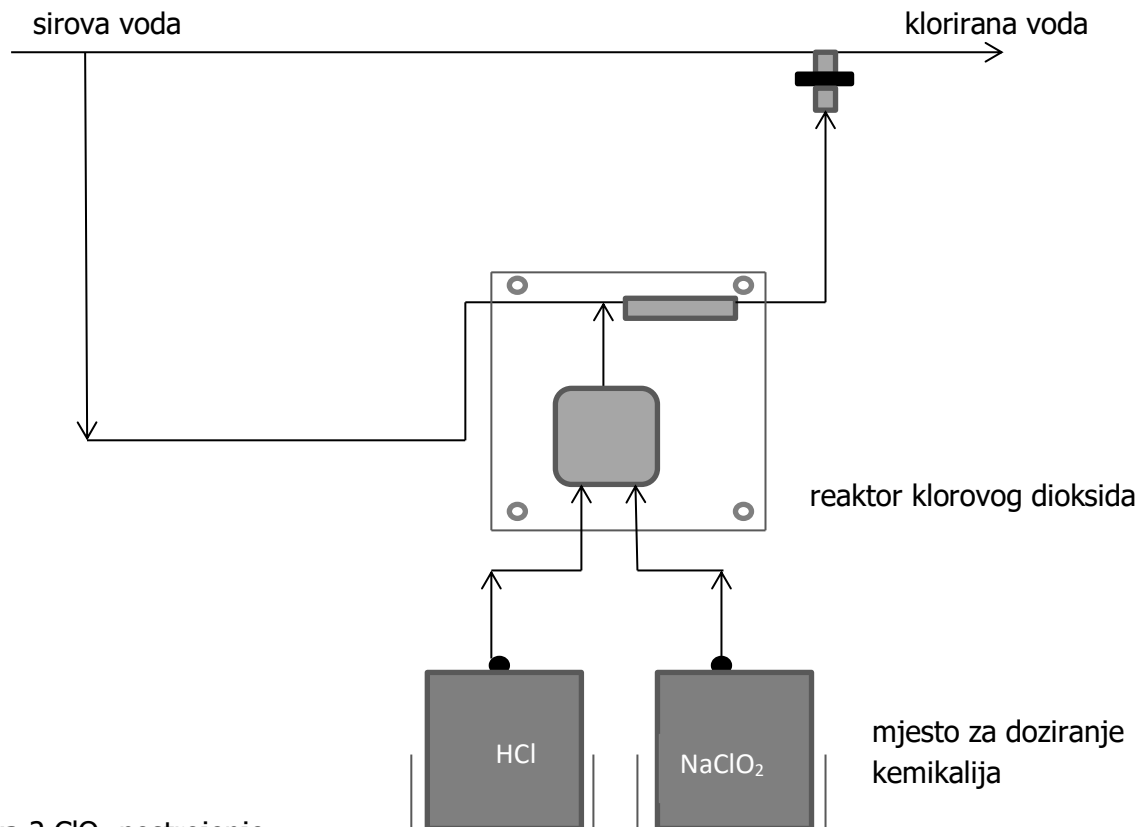
Ovisno o izvoru vode, voda je izložena različitim mikrobiološkim kontaminacijama, a površinske vode su puno više izložene onečišćenjima. Kako bi se izbjegao bilo kakav rizik, potrebno je dezinficirati svu vodu koja dolazi u pivovare. Mikrobiološka kontrola se kod proizvodnje piva ograničava na određivanje mikroorganizama koji se mogu razmnožavati u sladovini i pivu, i utvrđivanje količine vode koja u određenom periodu može izazvati zamućenje sladovine ili piva. Osim toga se provode i probne fermentacije s vodom koja se ispituje, čime se dokazuje eventualno postojanje uzročnika smetnje fermentacije. Kako bi se voda očistila od mikrobioloških onečišćenja, koriste se fizikalni i kemijski postupci. Od kemijskih postupaka za dezinfekciju vode koriste se kloriranje, ozoniziranje, te dodatak iona srebra u vodu. Dezinfekcija klorom je metoda koja se koristi globalno za pitku vodu. Mehanizam djelovanja klora temelji se na tome što se uvođenjem klora u vodu stvara hipokloritna kiselina (HClO), od koje se zatim odcjepljuje atom kisika uz nastajanje klorovodične kiseline. Hipokloritna kiselina djeluje baktericidno zbog izdvojenog kisika. Međutim, pri uobičajenim uvjetima kloriranja, klor djeluje baktericidno samo na vegetativne oblike mikroorganizama, a ne na njihove spore. Pokazalo se da je kombinirana obrada vode, gdje se osim kloriranja koristi i ultraljubičasto zračenje, mnogo efikasnija. Efekt kloriranja mogao bi biti veći kada bi se produljilo vrijeme kontakta i povećale doze klora, no to bi moglo povisiti formiranje nusproizvoda. Klorirana voda se može uvesti u očišćene cjevovode za sladovinu i pivo i ostaviti u njima preko noći kako bi se i oni dezinficirali (Zyara i sur., 2006).

Reakcija dobivanja klorovog dioksida :



Nedostatak kloriranja je taj što klor u reakciji s organskim tvarima daje klorfenole, a voda s fenolnim mirisom nije pogodna za proizvodnju piva. Preporuka je da se klorirana voda

profiltrira kroz aktivni ugljen kako ne bi negativno utjecala na kvalitetu piva. Filtri ispunjeni aktivnim ugljenom ne uklanjaju samo klor iz vode, nego adsorbiraju i druge u vodi prisutne neugodne mirise, ugljikovodike, organske tvari, boju, itd. Količina klora potrebna za dezinfekciju ovisi o pH, tvrdoći vode i sadržaju organskih tvari u vodi. Rezidualni klor 30 minuta po završetku kloriranja treba biti u granicama 0,1 - 0,15 mg/l klora.



Slika 2 ClO<sub>2</sub> postrojenje

U zadnje vrijeme se sve veća pažnja poklanja postupcima dezinfekcije vode pomoću ultraljubičastih zraka (Zyara i sur., 2016). U tu svrhu se rabe specijalne lampe, a dezinfekcijski učinak je intenzivniji nego kod kemijskih postupaka, pri čemu se uništavaju vegetativni i spirogeni oblici bakterija. Kod ovog postupka ne dolazi do promjene okusa vode (Kunze, 1998).

Ozon je jedan od najmoćnijih dezinfekcijskih sredstava. Njegova visoka dezinfekcijska učinkovitost je primijećena u postrojenjima za proizvodnju piva. Ozon rješava probleme koji se javljaju pri upotrebi različitih dezinfekcijskih sredstava kao što su pojava opasnih nusprodukata i mikrobiološka rezistencija. Ne ostavlja kemijsku rezidualnost i degradira se u molekularni kisik. To osigurava da nema nusprodukata koji narušavaju okus i miris završnog proizvoda te povećava kvalitetu otpadne vode jer sadrži dodatni kisik koji poboljšava izvedbu biološke obrade otpadnih voda, što u konačnici povećava reciklaciju vode i mogućnosti ponovne upotrebe u pivovarama (Arranz, 2007).

### 5.1.2 Aeracija i oksidacija

Za uklanjanje određenih komponenata, a posebno željeza i mangana aeracija je neophodna. Koristi se za oksidiranje željeznih iona u željezov oksid/hidroksid koji se izdvaja i otapala, za uklanjanje isparljivih organskih supstanci, hidrogen sulfida i ugljikvog dioksida iz vode.

Povećana koncentracija željeza u vodi ne predstavlja zdravstveni, već organoleptički problem, ali uzrokuje i inhibiranje kvasaca što može biti problem u industriji piva (Pohl i sur. 2010; Sancho i sur. 2011). Željezo i mangan otapaju se prolaskom vode siromašne otopljenim kisikom kroz slojeve tla. Već koncentracije od 0,3 mg/l željeza u vodi za piće izazivaju zamucenje, a veće koncentracije okus po tinti. Organoleptička (okusna) granica za mangan je 0,5 mg/l. U vodi za piće dozvoljeno je maksimalno 0,2 mg/L željeza i 0,05 mg/L mangana. Vode koje sadrže željezo i mangan nisu prikladne za tehnološke procese.. Uklanjanje željeza (deferizacija) i mangana (demanganizacija) iz vode vrlo važan postupak u tehnologiji vode, jer željezo i mangan smetaju gotovo kod svih tehnoloških procesa ako su sadržani u tehnološkoj vodi ili vodi za piće (Mijatović i Matošić, 2007).

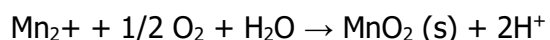
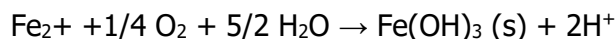
U procesu proizvodnje piva, željezo daje boju s polifenolima i, ponašajući se kao katalizator oksidacije, stvara nestabilnost okusa i zamucenja. Aeracija i tretmani s oksidirajućima agensima, kao što je klor, konvertiraju željezo(II) u željezo(III) ion, koji se onda odvaja kao željezo(III) hidroksid.

Dvije su osnovne faze deferizacije vode:

1. oksidacija otopljenog Fe(II) u teško topljive oksihidrate Fe(III)
2. filtracija nastalih flokula Fe(III)-oksidrata

Oksidacija Fe(II) i Mn(II) u teško topljive oksihidrate Fe(III) i Mn(III) se najčešće provodi postupkom aeracije.

Osnova tehnološkog postupka uklanjanja Fe i Mn:

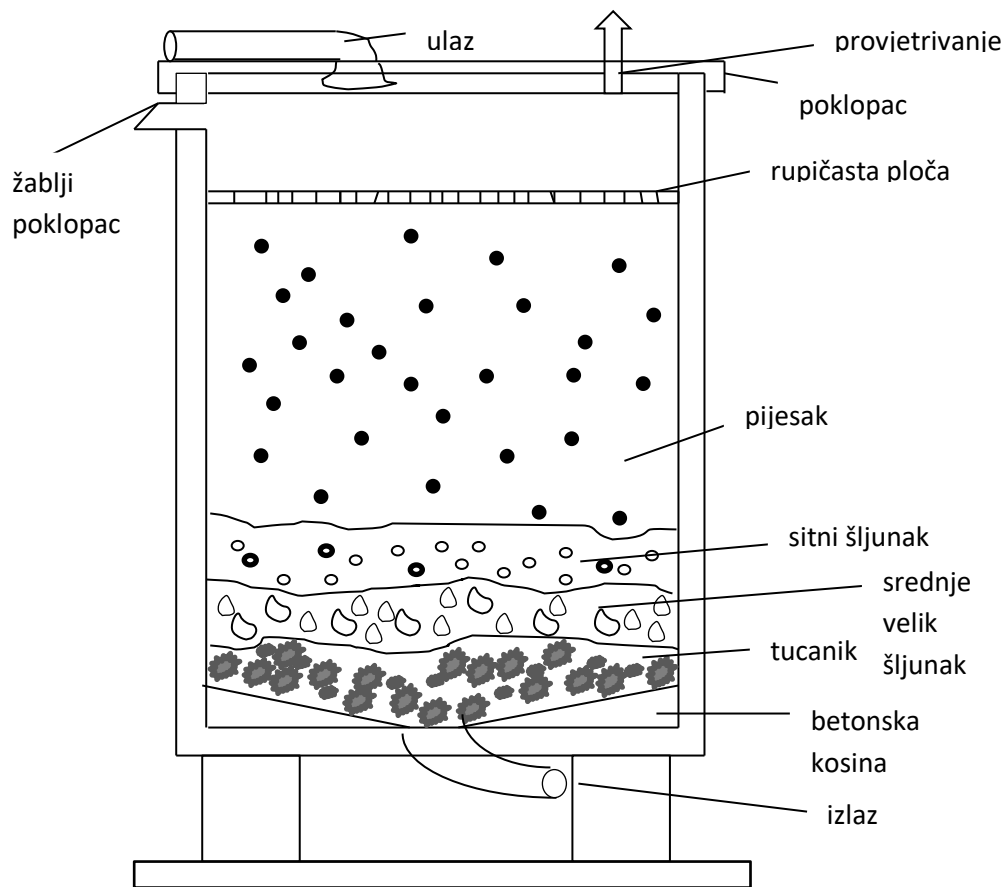


Ako voda sadrži previše amonijaka, potrebno je osigurati dovoljno kisika za formiranje nitrata. Kako bi se provela oksidacija, potrebna je prisutnost bakterija *Nitrosomonas* i *Nitrobacter*, te vezati na nosač kao što je pješčani filter (Bamforth, 2006).

### 5.1.3 Filtracija

Filtracija se u tehnologiji vode primjenjuje za uklanjanje u vodi prisutnih grubo dispergiranih onečišćenja ili grubo raspršenih flokula nastalih nekim procesom obrade vode. Pod biološkim djelovanjem filtra može se spomenuti i postupak biološke razgradnje i uklanjanja određenih nepoželjnih spojeva kao što su organske tvari, željezo, mangan i amonijak pri čemu se na filtracijskom sloju pijeska razvijaju mikroorganizmi koji oksidiraju navedene ione i organske tvari pri čemu se amonijak oksidira do nitrata koji su mnogo manje toksični, a mangan i željezo se u oksidacijskom stanju +3 istalože u filtru (Mijatović i Matošić, 2007).

Arsen je kemijski element koji se u prirodnim vodama pojavljuje u obliku organskih ili anorganskih spojeva As(III) ili As(V). Pojava arsena u prirodnim vodama posljedica je geološkog sastava tla ili antropološkog djelovanja. Najčešći oblici anorganskog arsena u prirodnim vodama: As(V) - arsenatna kiselina i As(III) - arsenitna kiselina. Toksičnost arsena ovisi o valencijskom naboju i obliku u kojem se arsen unosi u ljudski organizam (Mijatović i Matošić, 2007). Ako je arsen prisutan, može se ukloniti na GEH (Granulated Ferric Hydroxide) filterima. GEH je filter materijal koji se bazira na sintetskom granuliranom željezo(III) oksidu. To je jako porozni adsorbens s velikom unutarnjom površinom. Jako je skup te ga je potrebno zamijeniti ili regenerirati kad se istroši (Bamforth, 2006). Budući da se arsen iz vode može ukloniti upotrebom reverzne osmoze, prilikom korekcije tvrdoće vode istovremeno se može ukloniti i arsen (Abejón i sur., 2015).



Slika 3 Filtracija na pješčanim filterima

#### Adsorpcija na aktivnom ugljenu

Adsorpcija na aktivnom ugljenu s fizikalnog ili kemijskog aspekta podrazumijeva sposobnost neke čvrste tvari (adsorbensa) da na svojoj graničnoj površini veže - adsorbira molekule plina ili otopljene tvari iz otopina - adsorbante. Uspješnost adsorpcijskog procesa ovisi o aktivnoj specifičnoj površini adsorbensa. Proces se odvija u četiri faze:

1. Tvar koja se adsorbira difuzijom ili turbulentnim miješanjem dopijeva do graničnog sloja koji okružuje adsorbens.
2. Tvar difuzijom prolazi kroz granični sloj do površine adsorbensa koja ovisi o udaljenosti, debljini i površini graničnog sloja.
3. Nakon prolaska kroz granični sloj tvar kroz pore dolazi do adsorpcijskih mjesta.
4. Adsorbant se veže na površini za slobodna adsorpcijska mjesta.

Adsorpcija na aktivnom ugljenu se koristi za deklorinaciju, adsorpciju i uklanjanje H<sub>2</sub>S. Deklorinacija je jako brz proces u kojem aktivni ugljen uzrokuje nastajanje klorida iz slobodnog klora. Kako bi se uklonio THM ili mirisi i boje iz vode, filteri sa aktivnim ugljenom se koriste kao nosači za kromatografiju (Bamforth, 2006).

#### **5.1.4 Flokulacija, flotacija i taloženje**

Uklanjanje koloidnih čestica iz vode može se ostvariti procesima koagulacije i flokulacije koji se odvijaju dodatkom sredstava za flokulaciju tzv. flokulanta, koji s koloidno dispergiranim česticama stvaraju veće aglomerate - flokule, koje se onda mogu ukloniti iz vode procesima sedimentacije, flotacije ili filtracije (Mijatović i Matošić, 2007). Sedimentacija ili flotacija se generalno upotrebljavaju prije filtracije. Kako bi se postiglo taloženje, voda prolazi u veliki tank u kojem se pomiče sporo kako bi se krute čestice istaložile ili voda može proći kroz pločastu taložnicu, centrifugalnu taložnicu ili hidrociklone (Bak i sur., 2001). Alternativno, flokulant se može ukloniti flotacijom u kojoj se flokule nošene mjehurićima zraka nagomilavaju na površini te uklanjaju (Briggs, 2004).

#### **5.1.5 Otplinjavanje**

Otopljene plinove kisika, ugljikovog dioksida i drugih plinovitih sastojaka reduciramo iz vode pomoću otplinjača. Deaeracija vode je nužna za različite primjene, posebno kada se radi o high-gravity brewing procesu koji se koristi kod jakih sladovina za proizvodnju piva s visokim udjelom alkohola i nužna je niska razina kisika. Prije su se koristili vakuumski otplinjač i CO<sub>2</sub>-otplinjači. Međutim, razina rezidualnog kisika (<10 ppb), nije dovoljna za današnje zahtjeve. Termički otplinjači se upotrebljavaju danas, a koriste povišenu radnu temperaturu. Karakteristike procesa su iste kao i kod starih metoda, no postižu se puno niže razine kisika, što zahtjeva veći utrošak energije (Bamforth, 2006). U pivovarama se najčešće koriste CO<sub>2</sub>-otplinjači zbog jednostavnosti primjene. To su spremnici vertikalnog položaja s dodatkom posebnog punjenja, ventilatora i u podnožju sa sabirnim spremnikom koji služi za redukciju CO<sub>2</sub> u vodi nakon membranskog filtriranja.

#### **5.2 Sekundarna obrada vode**

Nekad se dobivalo pivo ovisno o vodi koja je bila na raspolaganju, a danas se voda obrađuje kako bi se dobilo određeno pivo. Voda koja se koristi u proizvodnji piva obično se tretira kako bi se podesio njezin sastav (Bak i sur., 2001; 1997; Comrie, 1967). Metode obrade mogu reducirati razinu organskih spojeva u otopini ili podesiti ionski sastav tekućine. U prošlosti je ova tema izazivala zbunjenost zbog raznolikosti izražavanja koncentracija soli (Moll, 1995).

Ioni u pivu utječu na njegov okus. Kada govorimo o sastavu vode, najčešće pričamo o njenoj tvrdoći. Meke vode sadrže nisku koncentraciju otopljenih soli kalcija i magnezija, dok tvrde vode sadrže visoku koncentraciju najčešće kalcijevog bikarbonata i kalcijevog sulfata. Privremena tvrdoća uzrokovana je kalcijevim bikarbonatom, a naziva se tako jer se zagrijavanjem vode bikarbonat pretvara u karbonat koji se taloži, ostavljajući pročišćenu vodu omekšanom. Dok je trajnu tvrdoću najčešće uzrokuje kalcijev sulfat, te njenim zagrijavanjem i dalje ostaje u vodi. Odlike vode su važne ovisno koristi li se voda za ukomljavanje, ili još važnije, za ispiranje (Briggs, 2004).

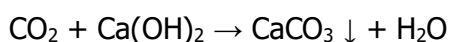
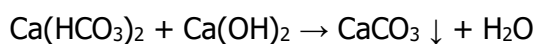
Kada želimo ukloniti karbonatnu tvrdoću, tada govorimo o djelomičnom mekšanju vode ili dekarbonizaciji. Kemijska obrada vode najčešće uključuje korekciju tvrdoće vode. Iako mekšanje vode taloženjem pomoću kemikalija ima čitav niz loših strana, dekarbonizacija vode kemijskim taložnim putem (pomoću vapna, natrijeva karbonata, natrijeva fosfata, tehničkom dekarbonizacijom) ima izuzetno važan značaj jer se provodi u cilju dobivanja vode koja služi u rashladne svrhe, kao sirovina u tehnološkom procesu (primjerice, prehrambena industrija) te kao I. stupanj pripreme vode za piće (Mijatović i Matošić, 2007). Tradicionalno se voda dekarbonizirala vapnom, zatim ionskom izmjenom, a najnovije metode su membranski procesi.

### 5.2.1 Taloženje vapnom

Kad se govori o karbonatnoj tvrdoći, nju je moguće ukloniti zagrijavanjem vode, međutim taj proces košta i izbjegava se, iako ima i dodatne pogodnosti jer se voda zagrijavanjem sterilizira, odvodi se otopljeni kisik i isparavaju hlapljive nečistoće kao što je THM.

Magnezijev bikarbonat također se razgrađuje zagrijavanjem, no magnezijev karbonat osjetno je topljivi, pa je prema tome uklanjanje nepotpuno. Zato za uklanjanje karbonatne tvrdoće, najčešće koristimo taloženje vapnom. Osim toga, uz uklanjanje vapna odvija se i bistrenje vode, a zajedno s vapnom uklanjaju se željezo i mangan te dio organskih tvari i silikata. Ako je jedan od procesa obrade vode flokulacija, onda se može u isto vrijeme u postrojenju za flokulaciju dodavati i vapno pri čemu se postiže i dekarbonizacija i bistrenje flokulacijom u istom postrojenju.

Vapno reagira drugačije sa solima u vodi pri različitim temperaturama i različitim vrijednostima pH. U hladnom se odvijaju reakcije pri čemu vapno obara kalcijev hidrogenkarbonat u talog kalcijevog karbonata. I slobodni CO<sub>2</sub> reagira s vapnom dajući kalcijev karbonat.



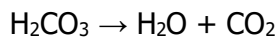
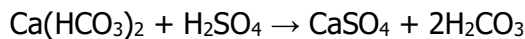
Za potrebe uklanjanja magnezijeve tvrdoće može se upotrijebiti i modificirani proces pri čemu se vapno dodaje u velikom suvišku te dolazi do povišenja pH vrijednosti vode iznad 11 pri čemu dolazi i do taloženja Mg(OH)<sub>2</sub>. Nakon ovakvog procesa treba provesti i naknadno podešavanje pH vode. Kod dekarbonizacije tehnološke vode u prehrambenoj industriji, osobito treba paziti da se ne bi u vodi pojavio suvišak vapna, jer se radi o vodi za ljudsku upotrebu, koja ne smije biti lužnata (Mijatović i Matošić, 2007).



Nakon dekarbonizacije vapnom, voda uvijek prolazi kroz pješčani ili višeslojni filter kako bi se uklonile netopljive tvari te provela daljnja dealkalizacija na površini pijeska.

### 5.2.2 Neutralizacija bikarbonata kiselinama

Zakiseljavanjem vode, a zatim uklanjanjem nastalog ugljikovog dioksida aeracijom, moguće je ukloniti bikarbonatne ione iz otopine.



Koriste se organske ili anorganske kiseline, pri čemu se bikarbonati prevode u ugljičnu kiselinu i odgovarajuće soli. Njihova upotreba ovisi o okusu, sigurnosti i uvjetima procesa.

### 5.2.3 Ionska izmjena

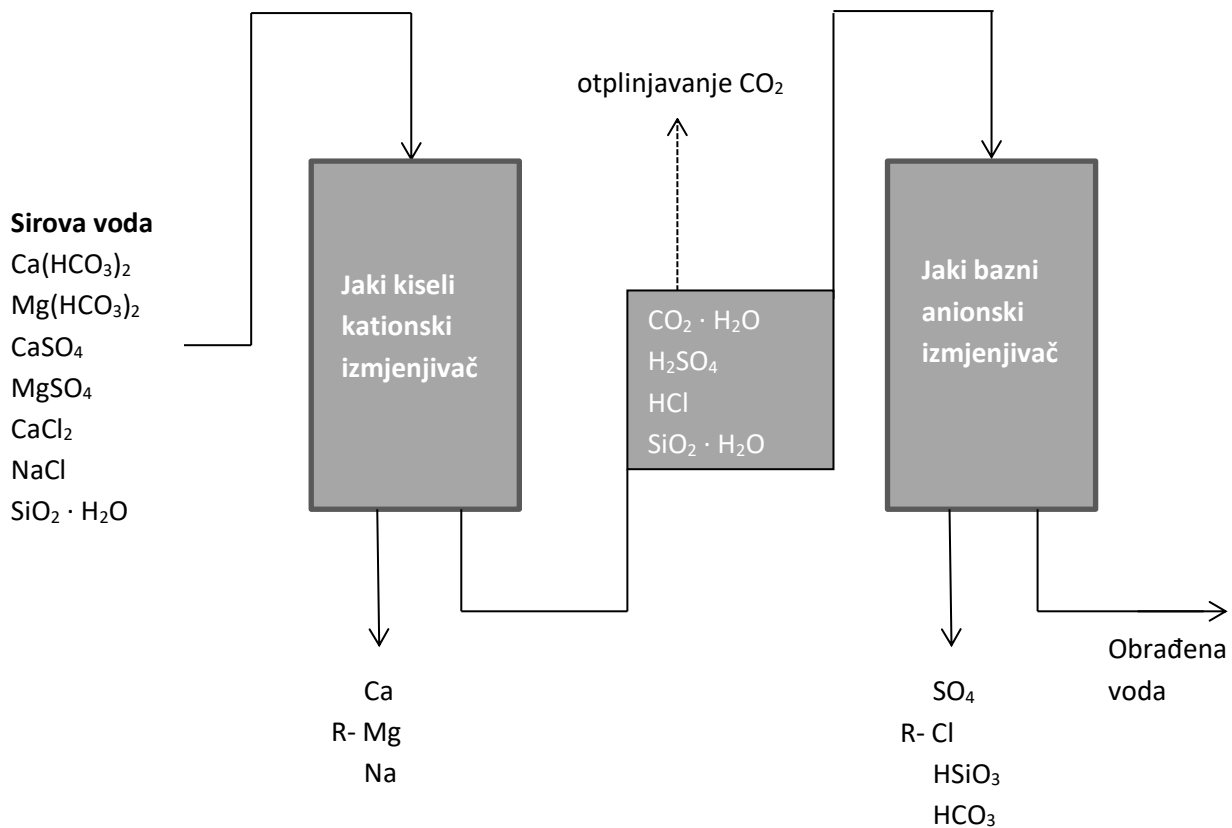
Ionska izmjena metoda obrade vode koja se koristi za mijenjanje njenog ionskog sastava. Može se primijeniti specifično, ali i na pretvorbu velikog broja iona. Ovisno o sastavu vode imamo četiri vrste izmjenjivača:

Slabo kiseli kationski izmjenjivač se koristi za dekarbonizaciju, gdje se uklanja karbonatna tvrdoća, odnosno kalcijevi i magnezijevi ioni vezani na bikarbonat. Na smolu izmjenjivača su vezane karboksilne grupe, a prolaskom vode kroz izmjenjivač dolazi do izmjene hidrogen iona izmjenjivača s kalcijevim i magnezijevim ionima u vodi. Vodikovi ioni reagiraju s bikarbonatnim ionima u vodi, tvoreći ugljičnu kiselinu koja reverzibilno disocira na vodu i ugljikov dioksid koji se potom uklanja. Nakon ionske izmjene potrebna je regeneracija smole kiselinom.

Jaki kiseli kationski izmjenjivač koristi se kod omekšavanja. Smole nose grupe sulfonske kiseline punjene natrijevim ionima. Kad voda prolazi kroz izmjenjivač, dolazi do zamjene natrijevih iona za ione kalcija i magnezija. Mekšanje vode se koristi za tvrdnu vodu koja može povećati količinu mulja, a nalazi primjenu u procesima hlađenja vode, kotlovima i vodi za ispiranje (Briggs, 2004).

Slabi bazni anionski izmjenjivač zamjenjuje anione jakih kiselina s hidroksilnim ionima. Kako bi se postigla demineralizacija, ispred njega uvijek treba biti instaliran jako kiseli kationski izmjenjivač.

Jaki bazni anionski izmjenjivač zajedno s jakim kiselim kationskim izmjenjivačem nalazi primjenu u demineralizaciji vode, gdje se pozitivni ioni zamjenjuju vodikovim ionima, a negativno nabijeni ioni hidroksilnim ionima. Obzirom da spojem hidroksilnih i vodikovih iona dobivamo vodu, demineralizacijom nastaje čista voda. Jaki bazni anionski izmjenjivači mogu čak ukloniti i slikatne ione i neke organske kiseline.



Slika 4 Ionski izmjenjivač

### 5.2.4 Membranski procesi

Upotreba membrana, odnosno membranske filtracije, zauzela je posljednjih nekoliko desetljeća vrlo važno mjesto u tehnologiji vode i danas se upotrebljava za velik broj procesa obrade vode.

Reverzna osmoza se temelji na tome da se stvara tlak na polupropusnoj membrani. Većina molekula i iona će se zaustaviti na membrani, dok će čista voda proći kroz nju. Za primjenu reverzne osmoze, potrebno je predobraditi vodu kako ne bi sadržavala oksidanse koji mogu oštetiti membranu ili organske tvari koje bi je eventualno mogle blokirati.

Nanofiltracija koristi niži tlak od reverzne osmoze i poroznije membrane. Zbog toga, jako mali ioni, jednovalentni, kao što su natrij i klorid, mogu proći kroz membranu što je ne čini ovu metodu idealnim izborom za obradu vode za pivarstvo. No, može se koristiti za omekšavanje vode, iako obzirom na cijenu, ionska izmjena je i dalje bolji izbor.



## 6. Zaključak

Sastav vode koja se koristi u proizvodnji piva bitno utječe na kvalitetu piva. Potrebno je napraviti analizu vode koja koristi u proizvodnji, kako bi se ustanovilo koje procese obrade vode treba primijeniti kako bi se dobila voda za proizvodnju željenog piva. Kod evaluacije vode, analizira se mikrobiološki sastav vode, estetika vode (boja, okus, miris) te koncentracija mineralnih tvari. Kako bi voda udovoljava zahtjevima vode za ljudsku potrošnju, provodi se primarna obrada vode kako bi voda bila mikrobiološki čista, a razina organskih i anorganskih tvari unutar propisanih standarda vode za piće koji su dani pravilnikom o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju. Početna obrada uključuje uklanjanje željeznih i manganovih iona putem pješčanih filtera i aeracije, uništavanje mikroorganizama doziranjem klora, uklanjanje klora i ostalih primjesa adsorpcijom na aktivnom ugljenu. Na kvalitetu i okus piva veliki utjecaj ima mineralni sastav vode koja se koristi. Kako bi se dobila željena vrsta piva, provode se sekundarne metode obrade koje mijenjaju mineralni sastav vode. Ovisno o izvoru vode i količini otopljenih tvari, provodi se dekarbonizacija vapnom kako bi se podesila željena tvrdoća vode, te ionske izmjene i membranski postupci koji u novije vrijeme nalaze sve širu primjenu u pivarstvu. Pri odabiru metoda obrade vode, važno je sagledati jednostavnost izvedbe i ekonomičnost postupaka.

## Literatura:

- Abejón A., Garea A., Irabien A. (2015): Arsenic removal from drinking water by reverse osmosis: Minimization of costs and energy consumption. *Separ. Purif. Technol.*, 144
- Bak, S. N., Ekengren, Oè., Ekstam, K., Haè Rnolv, G., Pajunen, E., Prucha, P. and Rasi, J. (2001) European Brewery Convention Manual of Good Practice. Water in Brewing. Hans Carl, Nürnberg
- Bamforth C.W (2006): *Brewing, new technologies*. CRC Press, 183-206
- Baxter, E. D. and Hughes, P.S. (2001) *Beer: quality, safety and nutritional aspects*. Cambridge. The Royal Society of Chemistry, 138
- Briggs D E., Boulton C. A., Brookes P. A. and Stevens R. (2004) *Brewing: Science and practice*. Cambridge, England, 68-90
- Byrne, H. (1990) *Ferment*, 3 (2), 90
- Comrie, A. A. D. (1967) *J. Inst. Brewing*, 73, 335.
- Focke, K., Brandt, D., Jentsch, M., Paich, C. C., Romeis, P., Schmittnagel, I., Sies, A. (2007): *Brewing liquor and its relevance for beer production*. *Brauwelt International* 25(1), 20-22.
- Janson, L. W. (1996): *Brew Chem 101: The basics of homebrewing chemistry*. Storey Pub., 32-44
- Kunze, W. (1998.): *Tehnologija sladarstva i pivarstva*, Beograd: Jugoslovensko udruženje pivara, 49.
- Moll, M. (1995) in *A Handbook of Brewing* (Hardwick, W. A. ed.). New York, Marcel Dekker, 133.
- Mijatović I., Matošić M. (2007): *Tehnologija vode interna skripta*, Zagreb: Prehrambeno-biotehnoški fakultet sveučilišta u Zagrebu.
- Pravilnik o temeljnim zahtjevima za pivo i pivu slične proizvode, Narodne novine, br. 6/98, (NN 6/98)
- Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju, Narodne novine, br.125/13 (NN 125/13).
- Rudin, A. D. (1976) *Brewers' Guard.*,
- Zyara A. M., Torvinen E., Veijalainen A., Heinonen-Tanski H. (2016): The effect of chlorine and combined chlorine/UV treatment on coliphages in drinking water disinfection. *J. Water Health* 14 (4), 640-649.
- IOA Conference and Exhibition Valencia, Spain - October 29 – 31, 2007
- [http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=OZONECIP\\_Article2.pdf](http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=OZONECIP_Article2.pdf)