



UNIVERZITET U BANJOJ LUCI
TEHNOLOŠKI FAKULTET



UTICAJ KVALITETA SIROVE VODE NA TEHNOLOŠKI PROCES PRIPREME NAPOJNE VODE

MASTER RAD

Mentor:

Prof. dr Ljiljana Vukić

Kandidat:

Duško Đukić

Banja Luka, 2018. godine



UNIVERSITY OF BANJA LUKA
FACULTY OF TECHNOLOGY



**THE INFLUENCE OF RAW WATER
QUALITY ON BOILER FEEDWATER
TREATMENT**
MASTER THESIS

Mentor:

Prof. dr Ljiljana Vukić

Candidate:

Duško Đukić

Banja Luka, 2018.

PODACI O MENTORU I MASTER RADU

Mentor	Prof. dr Ljiljana Vukić, redovni profesor Tehnološki fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci
---------------	---

Naslov master rada Uticaj kvaliteta sirove vode na tehnološki proces pripreme napojne vode

Rezime Svakako da primjena, ali i sastav sirove vode u industriji, određuje i njenu pripremu. Ukoliko se voda adekvatno ne pripremi za određenu namjenu u industriji, može izazvati niz negativnih pojava što za posljedicu ima poremećaj sistema u kojem se koristi, a što može dovesti do štete, zastoja i neodgovarajuće eksploatacije sistema. Posljedice prisustva rastvorenih primjesa (rastvorenih soli i gasova) u vodi su nastajanje kamenca, mulja, pojava korozije i pjenušanje vode.

Voda predstavlja glavnu sirovinu u termoelektričnoj industriji i nezamjenjiva je zahvaljujući svojoj cijeni i dostupnosti, ali njena priprema s ciljem dobijanja zahtijevanog kvaliteta vode za napajanje kotlova različitog radnog pritiska, uvijek je dosta složena i kompleksna. To podrazumijeva, prije svega primjenu više mehaničkih, hemijskih i fizičko-hemijskih postupaka, kako bi se uklonile neželjene i štetne primjese, koje mogu prouzrokovati teškoće u radu ovih postrojenja. Kvalitet ulazne sirove vode, kao i radni pritisak kotla određuje tok i složenost obrade same vode.

U ovom radu su analizirani uzorci dvije podzemne vode (selo Ćela, okolina grada Prijedora i selo Brezik Laminci, okolina Gradiške) i uzorci dvije površinske vode (rijeka Vrbas-Banja Luka i rijeka Sava-Gradiška).

U seriji od pet uzorkovanja na svim pomenutim lokacijama, dobijeni su rezultati analiza, koji ukazuju na razliku u fizičko-hemijskom sastavu ispitivanih sirovih voda. Podzemne vode su očekivano bile sa većim sadržajem soli, odnosno klasifikovane su kao veoma tvrde vode, sa visokom specifičnom provodljivošću, neutralne do blago kisele i sa povišenim sadržajem gvožđa i mangana u vodi sa izvorišta Ćela. Za razliku od njih površinske vode su srednje tvrde vode i sa prisutnim mehaničkim primjesama, ali varijacije mnogih parametara kvaliteta se nisu u potpunosti iskazale jer se radilo relativno kratkom vremenu uzorkovanja kada promjena klimatskih uslova nije mogla uticati na njihov kvalitet.

U skladu sa fizičko-hemijskim sastavom, za sve ispitivane vode su predložene šeme pripreme napojne vode, koje su se po stepenu složenosti obrade razlikovale, ne samo prema ulaznom kvalitetu vode, već i po tome da li se napajaju kotlovi niskog ili visokog radnog pritiska.

Ključne riječi *površinska voda, podzemna voda, parni kotao, priprema industrijske vode*

Naučna oblast Inženjerstvo i tehnologija

Naučno polje Hemijsko inženjerstvo

Klasifikaciona oznaka **T350**

Tip odabrane licence Autorstvo-nekomercijalno-bez prerade (CC BY-NC-CD)

Kreativne zajednice

MENTOR AND MASTER THESIS INFORMATION

Mentor	PhD Ljiljana Vukić, Professor Faculty of Technology, University of Banja Luka
Title of master thesis	The influence of raw water quality on boiler feedwater treatment

Abstract The use and composition of raw water in industry determines its treatment techniques.

If water is not adequately prepared for specific industrial purpose, it can cause series of negative phenomena, resulting in a disruption of the system in which it is used, which can lead to damage, delay and inadequate exploitation of the system. The consequences of the presence of dissolved substances (dissolved salts and gases) in water can cause formation of scale, sludge, appearance of corrosion and water foaming.

Water represents the main raw material in the thermo-energetic industry and is irreplaceable thanks to its price and availability, but its preparation in purpose of obtaining the required quality of water for supplying boilers with different operating pressures is always quite complex and complicated. This implies, above all, the application of several mechanical, chemical and physical-chemical processes, in order to remove unwanted and harmful substances that can cause difficulties in operation of water plants. The quality of the feed raw water, as well as the operating pressure of the boiler, determine the flow and complexity of the treatment of the water itself.

In this paper, samples of two ground waters (the village of Ćela, the surroundings of the city Prijedor and the village Brezik Laminci, the surroundings of town Gradiška) and samples of two surface waters (the river Vrbas, surroundings of the city Banja Luka and the river Sava, surroundings of town Gradiška) were analyzed.

The results of the analysis of series of five samplings from all mentioned locations were obtained, indicating the difference in the physical-chemical composition of the analyzed raw waters. Ground water was expected to have a higher salt content, classified as very hard waters, with a high specific conductivity, neutral to slightly acidic and with increased content of iron and manganese in the water from the spring Ćela. In contrast, surface waters are medium hard waters with present mechanical admixtures, but the variation of many parameters of quality has not been fully demonstrated due to relatively short sampling time when change of climatic conditions could not affect their quality.

According to physical-chemical composition, for all examined waters, water treatment schemes were proposed, which were different according to the degree of complexity of the

treatment, not only according to raw water quality, but also whether they are used in boilers of low or high operating pressure.

Keywords *groundwater, surface water, steam boiler, industrial water treatment*

Scientific area	Engineering and Technology
------------------------	----------------------------

Scientific field	Chemical Engineering
-------------------------	----------------------

Classification Code	T 350
----------------------------	-------

Type selected licence	CC BY-NC-CD
------------------------------	-------------

Creative Commons

Zahvalnica

Posebnu zahvalnost dugujem mentoru ovog rada, profesorici Ljiljani Vukić, na njenoj posvećenosti, bezrezervnoj podršci i na velikoj pomoći oko organizacije i realizovanja ovog istraživanja, kao i savjeta tokom pisanja rada i samog njenog doprinosa u istom. Takođe, moju veliku zahvalnost dugujem i višem asistentu, Dijani Drljači, koja je svojim savjetima i nesebičnoj pomoći doprinijela što boljim rezultatima dobijenih analiza, kao i samoj strukturi rada, i njenoj spremnosti da mi uvijek pomogne kada god je to bilo potrebno. Naravno, želim da se zahvalim i laborantici, Dušanki Soković, koja je svojim iskusnim savjetima, podršci i pomoći kad god je trebalo doprinijela što kvalitetnijim rezultatima analize.

Mojoj porodici sam beskrajno zahvalan na razumijevanju, strpljenju, ljubavi i podršci. Takođe, zahvaljujem se svojim prijateljima na nesebičnoj podršci i razumijevanju.

Autor

LISTA TABELA

Tabela 3.1. Rastvorljivost nekih gasova u vodi

Tabela 3.2. Pregled kalcijumovih i magnezijumovih soli koji čine tvrdoću vode

Tabela 3.3. Vrijednosti kontrolnih parametara demineralizovane vode za sistem voda-para u termoelektrani

Tabela 3.4. Karakteristike vode za napajanje parnih kotlova (osim za kotlove s neposrednim ubrizgavanjem vode) i kotlova za proizvodnju vrele vode

Tabela 4.1. Metode ispitivanja parametara kvaliteta vode

Tabela 5.1. Rezultati analiza ispitivanih uzoraka podzemnih i površinskih voda

LISTA SLIKA

Slika 3.1. Prikaz pH skale za prirodne vode na 25°C

Slika 3.2. Hemijski oblici ugljene kiseline u vodi

Slika 3.3. Alkalitet i karbonatne vrste u vodi

Slika 3.4. Šema pravougaonog taložnika

Slika 3.5. Koagulacija i flokulacija

Slika 3.6. Šema brzog taložnika (akceleratora)

Slika 3.7. Šematski prikaz pješčanog reaktora za dekarbonizaciju

Slika 3.8. Šematski prikaz procesa deferizacije

Slika 3.9. Struktura mjenjača jona na bazi polistirena: A-katjonska smola; B-anjonska smola

Slika 3.10. Direktno omešavanje vode katjonskim mjenjačem u natrijevom obliku (neutralna izmjena)

Slika 3.11. Dekarbonizacija vode slabo kiselim katjonskim mjenjačem u H obliku

Slika 3.12. Mekšanje vode uz prethodnu dekarbonizaciju jonskom izmjenom -slabo kiseli N-mjenjač (-COOH) i jako kiseli Na-mjenjač (SO₃-Na)

Slika 3.13. Šema potpune demineralizacije vode jonskom izmjenom

Slika 3.14. Šematski prikaz membranske separacije

Slika 3.15. Šema jednog degazatora tipa skrubera

Slika 3.16. Atmosferski termički deaerator vode

Slika 3.17. Šematski prikaz uklanjanja O₂ sa hidrazinom

Slika 5.10. Predložena šema hemijske pripreme površinske vode (rijeka Sava i rijeka Vrbas)

Slika 5.11. Predložena šema hemijske pripreme podzemne vode iz sela Čela, lokalitet Prijedor

Slika 5.12. Predložena šema hemijske pripreme podzemne vode iz sela Brezik Laminci, lokalitet Gradiška

LISTA GRAFIKA

Slika 5.1. Grafički prikaz pH vrijednosti analiziranih podzemnih i površinskih voda

Slika 5.2. Grafički prikaz specifične provodljivosti analiziranih podzemnih i površinskih voda

Slika 5.3. Grafički prikaz sadržaja ukupne tvrdoće u analiziranim uzorcima podzemnih i površinskih voda

Slika 5.4. Grafički prikaz sadržaja karbonatne tvrdoće u analiziranim uzorcima podzemnih i površinskih voda

Slika 5.5. Grafički prikaz koncentracije sulfata u analiziranim uzorcima podzemnih i površinskih voda

Slika 5.6. Grafički prikaz vrijednosti m-alkaliteta za analizirane uzorke podzemnih i površinskih voda

Slika 5.7. Grafički prikaz koncentracije soli gvožđa u analiziranim uzorcima podzemnih i površinskih voda

Slika 5.8. Grafički prikaz koncentracije soli mangana u analiziranim uzorcima podzemnih i površinskih voda

Slika 5.9. Grafički prikaz koncentracije silikata u analiziranim uzorcima podzemnih i površinskih voda

LISTA SKRAĆENICA

NTU (eng. *Nephelometric Turbidity Unit*) – nefelometrijska jedinica mutnoće

DDT- dihlor-difenil-trihloretan

UT- ukupna tvrdoća

KT- karbonatna tvrdoća

NT- nekarbonatna tvrdoća

AT- anjonska tvrdoća

BT- bazna tvrdoća

CaT- kalcijumova tvrdoća

MgT- magnezijumova tvrdoća

SI (franc. *Système international d'unités*)- Međunarodni sistem jedinica

KA- karbonatni alkalitet

BA- bikarbonatni alkalitet

HA- hidroksidni alkalitet

DEMI- demineralizovana

EN (eng. *European Norm*)- evropski standard

TOC (eng. *Total organic carbon*)- ukuni organski ugljenik

MgNT- magnezijumova nekarbonatna tvrdoća

Me- metal

APHA-AWWA-WPCF (eng. *American Public Health Association- The American Water Works Association-The Water Environment Federation*)- Standardne metode za ispitivanje kvaliteta vode: Američko udruženje za javno zdravstvo- Američko udruženje za vodu- Federacija za zaštitu voda

PA- p-alkalitet

MA-m- alkalitet

CaKT- kalcijumova karbonatna tvrdoća

MgKT- magnezijumova karbonatna tvrdoća

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
2.	HIPOTEZE I CILJ	2
3.	TEORETSKI DIO.....	3
3.1.	Prirodne vode	3
3.1.1.	Parametri kvaliteta voda	5
3.2.	Industrijska voda	19_Toc508648526
3.2.1.	Priprema napojne vode	23
3.2.2.	Mehanička obrada.....	24
3.2.3.	Bistrenje vode.....	24
3.2.4.	Mekšanje vode.....	28
3.2.5.	Hemijski postupci.....	29
3.2.6.	Deferizacija i demanganizacija.....	31
3.2.7.	Jonska izmjena.....	34
3.2.8.	Membranski postupci.....	39
3.2.9.	Degazacija napojne vode	40
4.	EKSPERIMENTALNI DIO	45
4.1.	Vrste uzoraka sirove vode, mjesto, način i vrijeme uzorkovanja	45
4.2.	Metode ispitivanja	45
4.3.	Oprema i hemikalije.....	46
5.	REZULTATI I DISKUSIJA.....	48
5.1.	Fizičko-hemijski sastav uzoraka sirove vode.....	48
5.2.	Prijedlog tehnoloških šema pripreme vode za energetska postrojenja	58
5.2.1.	<i>Tehnološka šema pripreme napojne vode od površinske vode (rijeke Sava i Vrbas).....</i>	<i>58</i>
5.2.2.	<i>Tehnološka šema pripreme napojne vode od podzemne vode</i>	<i>61</i>
5.2.3.	<i>Podzemna voda sa izvorišta Ćela, lokalitet Prijedor</i>	<i>61</i>

5.2.4.	<i>Podzemna voda sa izvorišta Brezik Laminci, lokalitet Gradiška</i>	62
6.	ZAKLJUČAK.....	65
7.	LITERATURA	66

1. UVOD

Voda predstavlja najrasprostranjeniju materiju na Zemlji, koja je od velike važnosti za razvoj i odvijanje svih životnih procesa. Pored toga, što je osnov života, voda je ujedno i najvažnija industrijska sirovina. Voda, u najužem smislu riječi, predstavlja jedinjenje dva elementa – vodonika (11,19 % m/m) i kiseonika (88,81% m/m) i ima hemijsku formulu H_2O , koje je sem molekulskog oblika zastupljeno u obliku vodoničnih (H^+ , H_3O^+ , $H_9O_3^+$) i hidroksidnih (OH^-) jona (*Popović, 2001; Rajković-Ognjanović, 2011*). U širem smislu riječi, voda je sistem, tj. smjesa hemijski čiste vode ($(H_2O)_n$) i raznih primjesa prisutnih u njoj, kao što su rastvorene soli, rastvoreni gasovi i dr.

Za ovaj rad je od posebne važnosti bila voda za industrijsku namjenu, te će u nastavku biti detaljnije objašnjena kako uloga vode, tako i parametri kvaliteta vode bitni za korištenje vode u industriji, ili još konkretnije u energetici.

Voda u industriji se koristi za hlađenje, rastvaranje, ispiranje, potom kao sredstvo za prenos toplote, kao reaktant itd. Svakako da primjena, ali i sastav sirove vode, određuje i njenu pripremu. Ukoliko se voda adekvatno ne pripremi za određenu namjenu u industriji, može izazvati niz negativnih pojava što za posljedicu ima poremećaj sistema u kojem se koristi, a što može dovesti do štete, zastoja i neodgovarajuće eksploatacije sistema. Fizičko-hemijski sastav vode je jako bitan jer upravo određeni kvalitet vode doprinosi boljim proizvodnim rezultatima, odnosno manjim nedostacima i teškoćama u radu industrijskog postrojenja. Stoga se kvalitet vode za napajanje kotlova različitog radnog pritiska nameće kao osnovni uslov za uspješan rad termoenergetskih postrojenja.

Rad se sastoji iz teorijskog i eksperimentalnog dijela. Teorijski dio sadrži bitne karakteristike vode u prirodi s obzirom na njeno porijeklo, kao i opis i značaj parametara kvaliteta vode, koji su bitni za ova istraživanja. Takođe, dat je i pregled mehaničkih, hemijskih i fizičko-hemijskih procesa obrade vode koji se najčešće koriste u pripremi vode za industrijske namjene. U eksperimentalnom dijelu, opisano je mjesto, način i vrijeme uzorkovanja, predstavljen tok istraživanja i dat je pregled metoda i opreme koji su korišteni tokom ispitivanja sirove vode, na osnovu čijih vrijednosti se i pristupa izradi šeme pripreme industrijske vode.

Rezultati istraživanja su analizirani kroz relevantne parametre kvaliteta ispitivanih uzoraka vode (dvije površinske i dvije podzemne vode), a poslužili su kao podloga za kreiranje tehnoloških šema pripreme vode za napajanje kotlova različitog radnog pritiska.

2. HIPOTEZE I CILJ

Predmet istraživanja u ovom radu je fizičko-hemijska karakterizacija sirove vode različitog porijekla (tačnije uzoraka dvije površinske vode i dvije podzemne vode), koje treba da posluže za izradu tehnoloških šema pripreme napojne vode. Fizičko-hemijska analiza sirove vode različitog porijekla treba da ukaže na razlike u kvalitetu površinskih i podzemnih voda, a time i različitog pristupa u njihovoj tehnološkoj pripremi za napajanje kotlova. S obzirom da zahtijevani kvalitet napojne vode zavisi od radnog pritiska u samom kotlu, pokušaće se predložiti tehnološki proces pripreme vode za kotlove niskog i kotlove visokog pritiska.

Na osnovu predmeta i problema istraživanja mogu se postaviti tri polazne hipoteze:

1. Fizičko-hemijski sastav sirove vode određuje proces pripreme napojne vode;
2. Površinske i podzemne vode razlikuju se po svojim karakteristikama. Varijacije u fizičko-hemijskom sastavu površinskih voda su više izražene u odnosu na podzemne, pa i tehnološka šema pripreme može biti fleksibilnija;
3. Šema pripreme napojne vode treba da predstavlja kombinaciju mehaničkih, hemijskih i fizičko-hemijskih postupaka obrade sirove vode, kako bi se dobio zadovoljavajući kvalitet vode za napajanje parnih kotlova.

Cilj rada je prikazati povezanost opštih, teorijskih i eksperimentalnih saznanja o površinskim i podzemnim vodama i na konkretnim primjerima dvije površinske vode (vode rijeke Save i Vrbasa) i dvije podzemne vode (sa lokaliteta Gradiške i Prijedora), na koji način njihov sastav, iskazan preko parametara kvaliteta, može da doprinese izboru pogodnog tehnološkog procesa za tretman i pripremu napojne vode, kako bi sistem voda-para u termoelektričkom postrojenju funkcionisao bez većih problema.

3. TEORETSKI DIO

3.1. Prirodne vode

Generalna podjela vode može se izvršiti na više načina (*Đukić i sar., 2011; Vukić, 2015*):

- *prema porijeklu*- atmosferska, površinska i podzemna, kristalna (hemijski vezana) i hidrataciona;
- *prema namjeni* - higijensko-sanitarna, kotlovska, rashladna, praona, tehnološka;
- *prema stepenu pripreme (prečišćenosti)*: -sirova voda (bez prečišćavanja), čista (mehanički prečišćena), omekšana (djelimično ili potpuno), destilovana, kondenzovana, demineralizovana i otpadna voda.

Svaka prirodna voda (podzemna ili površinska) sadrži određenu količinu primjesa ili zagađenja koja se, prema dimenzijama čestica, mogu podijeliti na (*Vukić, 2015; Gajić i sar., 2010a*):

- grubo dispergovana zagađenja,
- koloidno dispergovana zagađenja,
- molekularno dispergovana zagađenja.

Prirodne vode, zavisno od svog kvaliteta imaju različite karakteristike. Najčistije su *atmosferske vode*, odnosno oborinske vode (snijeg, kiša, rosa, magla, mraz, grad) iako razvojem industrije, saobraćaja, energetike i drugih privrednih aktivnosti, ove vode već odavno imaju pogoršan kvalitet. Bitno je istaknuti da ne postoji potpuno hemijski čista voda u prirodi. Čak i najčišća kišnica u različitim sredinama u sebi sadrži rastvorene gasove iz atmosfere kao što su ugljen(IV)oksid, kiseonik, azot i amonijak (CO_2 , O_2 , N_2 i NH_3) (*Korać, 1975*).

U industrijskim i urbanim zonama u atmosferskim padavinama može se naći povišen sadržaj rastvorenih gasova poput vodonik-sulfida, oksida sumpora (SO_2 i SO_3 , odnosno H_2SO_3 i H_2SO_4), oksida azota (NO i NO_2 , odnosno HNO_2 i HNO_3), hloridne kiseline, amonijaka i mnogih drugih, potom čestica prašine i čađi, ali i različitih vrsta mikroorganizama (bakterija, plijesni i virusa). Atmosferska voda u blizini velikih naselja, industrijskih i termoenergetskih postrojenja dostiže vrijednost ukupnog sadržaja soli od 50 mg/L (*Radovanović, 1996*). Uglavnom se ne koristi za tehničke namjene, jer je njeno prikupljanje otežano.

Površinske vode (rijeke, jezera, mora, okeani, močvare, bare) variraju u svom kvalitetu, posebno kada su u pitanju mehaničke primjese i rastvoreni gasovi, a što zavisi od klimatskih i meteoroloških uslova. Kako se količina površinskih voda mijenja tokom godine (topljenje snijega i pojačane padavine) mijenjaju se i njene osobine. Površinske vode sadrže uglavnom mehaničke primjese organskog i neorganskog porijekla i određenu količinu rastvorenih soli. Organske supstance u vodi najčešće potiču od ljudskog faktora, ali i od jedinjenja prirodno prisutnih u vodi kao što su tanini i lignini, nastalih izumiranjem biljne vegetacije koja je prisutna blizu površine vode (*Amjad, 2011*). Koncentracija ovih jedinjenja obično varira u zavisnosti od godišnjeg doba.

Riječne vode sadrže relativno malu količinu rastvorenih soli, čija se vrijednost kreće oko 500-600 mg/L (*Radovanović, 1996*). Temperatura površinske vode varira u opsegu 0 do 30°C.

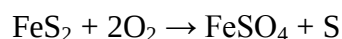
Dakle, površinske vode karakteriše (*Popović, 2001*):

- niži sadržaj mineralnih soli,
- veće varijacije u hemijskom sastavu,
- veće varijacije temperature (od 0°C do 30°C),
- veći sadržaj mehaničkih primjesa.

Podzemne vode (rijeke ponornice, izvori, bunari) formiraju svoja ležišta poniranjem atmosferskih i površinskih voda kroz tlo, pri čemu se filtriranjem iz njih uklanjaju mehaničke primjese, ali i rastvaraju dobro rastvorljive soli (npr, natrijum-hlorid, natrijum-sulfat, magnezijum-sulfat i dr.) i apsorbuju gasovi poput CO₂ i H₂S. Teško rastvorljive soli poput karbonata magnezijuma, kalcijuma i gvožđa (MgCO₃, CaCO₃ i FeCO₃), rastvaraju se zahvaljujući prisustvu ugljen(IV)oksida (CO₂), prevodeći ih u rastvorljive bikarbonate, prema sljedećim reakcijama (*Popović, 2001; Vukić, 2015*):



Osim ugljen(IV)oksida, voda sadrži i određenu količinu rastvorenog kiseonika koji oksiduje prisutni FeS₂ do FeSO₄ prema sljedećoj reakciji (*Vukić, 2015*):



Podzemne vode formiraju svoj sastav zavisno od slojeva tla sa kojima dolazi u kontakt. Stoga su vode sa područja krečnjaka (CaCO₃), dolomita (CaCO₃·MgCO₃), magnezita (MgCO₃) i gipsa (CaSO₄·2H₂O) tvrde, a sa područja bazalta, granita i drugih vulkanskih

stijena mekane vode. Prisustvo rastvorenih silikata u vodi posljedica su dugotrajnog djelovanja vode na silikate i alumosilikate (granit, kvarc...) u prisustvu organskih kiselina. Ukupan sadržaj soli u podzemnim vodama može dostići vrijednosti od 1.500-2.000 mg/L (*Radovanović, 1996*).

Dakle, podzemne vode karakteriše (*Popović, 2001*):

- viši sadržaj mineralnih soli,
- manje varijacije u hemijskom sastavu,
- manje varijacije temperature (oko 10°C, osim ako su u pitanju termalne vode),
- manji sadržaj patogenih mikroorganizama.

3.1.1. Parametri kvaliteta voda

Parametri kvaliteta voda se dijele na fizičke, hemijske i biološke parametre.

Najčešći fizički parametri su:

- Temperatura,
- Miris,
- Ukus,
- Mutnoća,
- Specifična provodljivost,
- Boja,
- Ukupna suva materija.

U hemijske pokazatelje se ubrajaju:

- pH- vrijednost,
- Sadržaj organskih materija (preko hemijske potrošnje kiseonika (HPK), biohemijske potrošnje kiseonika (BPK) i utroška KMnO_4 , tj. permanganatnog broja),
- Rastvoreni gasovi (O_2 , CO_2 , H_2S),
- Alkalitet,
- Tvrdća vode (ukupna, karbonatna, nekarbonatna),
- Nutrijenti (jedinjenja azota i fosfora),
- Rastvoreni metali (gvožđe, mangan),
- Sadržaj pojedinih soli (hloridi, sulfati),
- Silicijumova kiselina.

Biološki parametri, najčešće obuhvataju određivanje ukupnog ili pojedinačnog sadržaja bakterija, virusa kao i patogenih mikroorganizama prisutnih u vodi. Iako ovo istraživanje nije obuhvatilo biološke parametre kvaliteta vode, potrebno je ih spomenuti.

U nastavku rada dat je opis parametara koji se koriste za ispitivanje kvaliteta vode, kako površinske, tako i industrijske. Neki od navedenih parametara korišteni su za analizu uzoraka vode predstavljenih u ovom radu.

3.1.1.1. Temperatura

Temperatura površinske vode obuhvata interval od 0-30°C, u zavisnosti od godišnjeg doba, za razliku od podzemnih gdje temperatura iznosi najčešće 10°C, mada nije isključena ni pojava veće temperature, čak i do 20°C (*Kukučka, 2013*). Izuzetak su podzemne termalne vode koje mogu imati dosta povišenu temperaturu. Inače, povišena temperatura direktno utiče na rastvorljivost gasova i pojačava mikrobiološku aktivnost u vodi. Temperatura vode određuje se termometrom.

3.1.1.2. Miris

Miris vode može da potiče od raznih organskih jedinjenja prisutnih u vodi, rastvorenih neorganskih soli i rastvorenih gasova koji su došli u kontakt sa vodom i uglavnom nastaje, spiranjem poljoprivrednih zemljišta ili kao rezultat industrijskog zagađenja (*Amjad, 2011*). Miris vode ne igra bitnu ulogu kod pripreme vode u hemijskoj industriji, ali ukazuje na prisustvo nepoželjnih supstanci u njoj.

3.1.1.3. Ukus

Prirodne vode mogu biti slane (višak natrijuma-hlorida), gorke (prisustvo rastvorenih soli magnezijuma), slatke i kisele (*Popović, 2001*). U suštini, ukus prirodne vode je u direktnoj zavisnosti od rastvorenih jedinjenja u istoj. Određuje se organoleptički samo kod uzoraka vode za piće.

3.1.1.4. Boja

Obojenost prirodnih voda potiče od rastvorenih organskih materija, kao što su huminske i fulvo kiseline koje daju boji karakterističnu žuto-smeđu boju (*Korać, 1975; Snoeyink i Jenkins, 1980*). Takođe, veća koncentracija rastvorenih neorganskih soli doprinosi obojenosti

kako prirodnih tako i podzemnih voda (*Amjad, 2011*). Određuje se tehnikom spektrofotometrije, tačnije kolorimetrijskom metodom određivanja. Obojenost sirove vode se mora ukloniti tokom procesa pripreme industrijske vode.

3.1.1.5. *Mutnoća*

Mutnoća (turbiditet) predstavlja sadržaj suspendovanih i koloidnih čestica, poput gline, mulja, fino dispergovanih organskih i neorganskih materija, emulgovanih materija, planktona i drugih mikroorganizama (*Vukić, 2015*). Mjerenje turbiditeta nije vezano samo za određivanje sitnih čestica u vodi, već i za činjenicu da ove čestice štite patogene organizme od dejstava dezinfekcije, posebno ako su organske prirode. Turbiditet izražava osobinu suspendovanih i koloidnih čestica da rasipaju i apsorbuju svjetlost. Postoje dvije metode za mjerenje mutnoće vode i to: *turbidimetrijska* i *nefelometrijska*. Najčešće se koristi nefelometrijska metoda. Izražava se u nefelometrijskim jedinicama NTU (Nephelometric Turbidity Unit).

Voda sa povećanom mutnoćom u industriji može da dovede do problema u radu kotlova za proizvodnju pare, pa je iz tih razloga potrebno ukloniti takve materije procesima koagulacije i flokulacije uz naknadno taloženje i filtraciju (*Amjad, 2011*).

3.1.1.6. *Specifična provodljivost*

Specifična provodljivost ili elektroprovodljivost, κ , predstavlja električno svojstvo vode i predstavlja mjeru ukupnog sadržaja svih jona prisutnih u vodi. Specifična provodljivost zavisi od (*Vukić, 2015; Medenica i Malešev, 2002*):

- temperature,
- koncentracije jona,
- vrste jona,
- pokretljivosti jona.
- valentnosti.
- polarnosti rastvarača,
- prirode elektrolita.

Porastom temperature za 1 °C, elektroprovodljivost rastvora raste za 2 % (*Ljoljo, 2012*). Provodljivost je parametar koji govori o stepenu mineralizacije vode, odnosno predstavlja ukupne rastvorne neorganske soli prisutne u vodi. Internacionalni sistem jedinica (SI sistem) propisuje jedinicu za merenje provodljivosti mS/m, pri čemu je 1 mS/m = 10 µS/cm. Određivanje provodljivosti se mjeri konduktometrijski, pogodnom metodom za

brzu detekciju mineralnog sadržaja u uzorku vode. Rastvori većine neorganskih kiselina, baza i soli su relativno dobri provodnici, nasuprot organskim molekulama, koje slabo disosuju u vodi, odnosno vrlo slabo ili nikako ne provode struju.

Provodljivost se u podzemnoj vodi kreće najčešće u granicama 673-886 $\mu\text{S}/\text{cm}$, dok je interval elektroprovodljivosti za površinske vode 215-430 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Đukić i sar., 2011).

Ovaj parametar igra jednu od ključnih uloga u procesima pripreme vode za industriju jer se voda kvaliteta demineralizovane vode koristi za pripremu napojne vode za parne kotlove (Angelovski i Čađenović-Milovanović, 2012).

3.1.1.7. Ukupna suva materija

Ukupna suva materija predstavlja ukupan sadržaj čvrste materije u uzorku vode, bilo da je prisutna u suspendovanom, koloidnom ili rastvorenom obliku. Definiše se kao ostatak nakon uparavanja i sušenja određene zapremine vode na 103–105°C (Vukić i Papuga 2015). Ukupna suva materije se uslovno može zvati isparnim ostatkom. Takođe, ukupna suva materija ima svoje frakcije i to: suspendovane materije, gubitak žarenjem i žareni ostatak.

Suspendovane materije predstavljaju ostatak na membrani (filter papiru) kada se određena zapremina uzorka vode filtrira kroz membranu poroziteta 45 μm . Suva materija je tada razdvojena na filtrat (koloidne i rastvorene materije) i suspendovani ostatak na filter papiru koji se suši na 103-105°C (Vukić i Papuga, 2015).

Pojam žareni ostatak je ustvari ukupna mineralna frakcija koja ostaje kao pepeo nakon spaljivanja ostatka nakon sušenja u mufolnoj peći na $550\pm 50^\circ\text{C}$, a gubitak mase nakon spaljivanja filter papira je tzv. *gubitak žarenjem* i uslovno rečeno, predstavlja organsku frakciju ukupne suve materije (Vukić i Papuga, 2015).

3.1.1.8. pH-vrijednost

Jedan od bitnijih parametara kvaliteta sirove vode, koja se podrgava procesu pripreme vode, jeste i pH vrijednost.

pH vrijednost prirodnih voda na 25°C iznosi 7, tačnije koncentracija vodoničnih jona iznosi 10^{-7} mol/L (Vukić, 2015)

Na slici dat je prikaz pH za prirodne vode na 25°C.



Slika 3.1. Prikaz pH skale za prirodne vode na 25°C (Vukić, 2015, preuzeto od Radovanović, 1996)

3.1.1.9. Sadržaj organskih materija

Organske materije prisutne u vodi mogu imati dvojako porijeklo, bilo da su nastale kao rezultat prirode, raspadanjem biljnog i životinjskog svijeta ili ljudskog djelovanja u vidu zagađenja okoline. Različita količina organskih supstanci može se pronaći kako u površinskim i tako i u podzemnim vodama, pri čemu treba imati na umu da je veća raznovrsnost organskih jedinjenja u površinskoj vodi, jer je ona više izložena djelovanju čovjeka i ekosistema. Organske materije u vodi itekako utiču na izbor procesa pripreme industrijske vode.

Na osnovu porijekla, postoje dvije vrste organskih materija u vodi, prirodne organske materije (humus) i sintetske organske materije.

Prirodne organske materije su huminske i fulvo kiseline i humin (Brezonik i Arnold, 2011.). Humusne materije u stvari predstavljaju kompleksna organska jedinjenja koja se nalaze u tlu i nastaju procesom razlaganja izumrlih biljaka i životinja. Humus je tamne boje i karakteriše ga veći postotak ugljenika (55-58% C) i azota (3-6% N). Ne rastvara se u vodi, ali se dijelom može koloidno dispergovati (Mutavdžić-Pavlović, 2010).

Huminske kiseline su kompleksna organska jedinjenja koja se nalaze u tlu, koja se ekstrahuju sa 0,1 M NaOH i talože se sa jakim kiselinama (pH=1), za razliku od fulvo-kiselina koje se takođe ekstrahuju sa jakim bazom, ali su rastvorljiva u više pH područja i zaostaju u rastvoru nakon taloženja huminskih kiselina (Brezonik i Arnold, 2011; Mutavdžić-Pavlović, 2010).

Humin je najinertniji dio humusnih materija, koji se mogu rastvoriti u toplom rastvoru NaOH (*Mutavdžić-Pavlović, 2010*).

Humusne materije grade kompleksna jedinjenja sa metalima (gvožđe, mangan, aluminijum), sa glinom, sulfidima i nekim koloidnim formama (*Korać, 1975; Stanga, 2010*). Humusne materije doprinose povećanju mutnoće, stoga se obavezno moraju ukloniti u pripremi industrijske vode tretmanom koagulacije, flokulacije, aktivnim ugljem, ozonom i sl. (*Gržetić, 2010; Vukić, 2015*).

Za razliku od prirodnih humusnih materija, u vodi mogu biti prisutne i organske sintetske materije nastale industrijskom proizvodnjom. Sljedeće grupe organskih sintetskih jedinjenja mogu dospjeti u prirodne vode, naročito površinske: površinski aktivne materije (deterdženti), fenoli, pesticidi (DDT, aldrin, dieldrin, endrin, heptahlor), trihloretilen, tetrahloroetilen; razni haloketoni, haloaldehidi, halometani, akrolein, akrilonitril, acetonitrili, aromatični amini, furani, dibenzodioksini, isparljiva aromatična jedinjenja, halonitrometani, etilenbromid, nitrozoamini, policiklični aromatični ugljovodonici, masti, ulja, nafta, polimeri i sl. (*Kvalitet voda, 2010; Brezonik i Arnold, 2011*).

Ukupne organske materije se najčešće određuju volumetrijskom metodom, za razliku od pojedinačnih organskih jedinjenja koja se određuju instrumentalnim metodama, tehnikama IR spektroskopije i HPLC i MS spektroskopije.

3.1.1.10. Rastvoreni gasovi

U sirovoj vodi su nalaze razni rastvoreni gasovi, koji su nastali biološkim procesima, procesima rastvaranja gasova iz vazduha, ljudskim djelovanjem i procesima u sedimentu (*Đukić i sar., 2011; Vukić, 2015*).

Gasovi u sirovoj prirodnoj vodi mogu biti (*Vukić, 2015*):

- lako rastvorljivi (CO_2 , NH_3 , H_2S , Cl_2 , SO_2 , SO_3 ...),
- srednje rastvorljivi (O_2 i N_2),
- teško rastvorljivi (H_2 , CO , CH_4 ...).

Količina svih rastvorenih gasova u vodi zavisi od temperature, afiniteta gasova, pritiska, saliniteta, i prisutnosti drugih gasova u vodi (*Vukić, 2015; Đukić i sar., 2011*).

U sljedećoj tabeli prikazana je rastvorljivost gasova u vodi na određenoj temperaturi vode.

Tabela 3.1. Rastvorljivost nekih gasova u vodi (Vukić, 2015, preuzeto od Radovanović, 1996)

t°C	O ₂ mg/L	O ₂ iz vazduha mg/L	N ₂ mg/L	H ₂ mg/L	CO ₂ mg/L	NH ₃ g/L	SO ₂ g/L	Cl ₂ g/L
0	69	14,6	29	1,92	3346	879	228	14,6
10	54	11,3	23	1,74	2318	684	162	9,97
20	43	9,09	19	1,60	1688	518	113	7,29
30	36	7,49	16	1,47	1257	408	78	5,72
40	31	6,41	14	1,39	973	338	54	4,59
50	27	5,50	12	1,29	761	284	41	3,93
60	23	4,69	11	1,18	576	238	33	3,29
70	19	3,81	9	1,06	-	194	26	2,79
80	14	2,81	7	0,79	-	154	21	2,23
90	8	1,59	4	0,51	-	114	18	1,27
100	0	0	0	0	-	74	0	0

Rastvoreni gasovi koji korozivno djeluju u sistemu voda-para su: kiseonik, ugljen(IV) oksid i vodonik-sulfid.

Osnovni izvor rastvorenog kiseonika u vodi jeste atmosferski kiseonik iz vazduha. Kiseonik iz atmosfere se najbolje rastvara u vodi kada voda (kiša, padavine) pada u vodu (Kukučka, 2013). Relativno čiste površinske vode sadrže od 9,1 – 11,3 mg/L O₂ (Vukić, 2015). Rastvoreni kiseonik je najopasniji, kada je u pitanju priprema napojne vode, s obzirom da djeluje korozivno u svim sredinama: kiseloj, neutralnoj i alkalnoj. Kiseonik uzrokuje dubinsku koroziju, što je posebno zabrinjavajuće, pa u napojnoj kotlovskoj vodi ne smije biti više od 0,02 mgO₂/L. Kiseonik djeluje kao korozivni agens i između slojeva nataloženog kamenca i kotlovskog materijala, a posebno mu je djelovanje izraženo tokom zastoja rada kotla (Radovanović, 1996).

Pored kiseonika, u sirovoj vodi je prisutan i ugljen(IV)oksid, odnosno ugljena kiselina, H₂CO₃. Gas CO₂ se rastvara u vodi pri čemu dolazi dijelom do obrazovanja ugljene kiseline (samo oko 1% rastvorenog CO₂ obrazuje ugljenu kiselinu) (Korać, 1975; Vukić, 2015).

Koncentracija slobodne ugljene kiseline u površinskim vodama je određena parcijalnim pritiskom CO₂ u atmosferi, zato je granica ovoga gasa u vodi maksimalno 25 mg/L (Đukić i sar., 2011; Vukić, 2015).

U prirodnim vodama ugljena kiselina može biti u različitim oblicima, tj. kao:

- nedisosovane molekule H₂CO₃ (obično u niskim koncentracijama),
- molekularno rastvoreni CO₂,
- bikarbonatni jon HCO₃⁻,

➤ karbonatni jon CO_3^{2-}

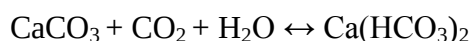
U kojem od ovih oblika će se pojaviti ugljena kiselina, zavisi od pH vrijednosti. Kada je pH vrijednost manja od 4, sva prisutna ugljena kiselina je u obliku gasa CO_2 , pH vrijednost $> 10,5$ ukazuje na prisustvo CO_3^{2-} , dok $\text{pH} = 8,3$ ukazuje na prisustvo ugljene kiseline u obliku HCO_3^- (Popović, 2001). Na slici 3.2. prikazani su hemijski oblici ugljene kiseline u zavisnosti od pH.



Slika 3.2. Hemijski oblici ugljene kiseline u vodi (Popović, 2001)

Što znači da se ukupna ugljena kiselina pojavljuje kao *vezana* (karbonati i bikarbonati) i *slobodna* (u obliku pripadajućeg i agresivnog CO_2). Vezana ugljena kiselina se sastoji iz malog dijela teško topivih CaCO_3 i MgCO_3 i većeg dijela bikarbonata, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ i $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ (Korać, 1975).

Slobodna ugljena kiselina predstavlja zbir $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2$. S obzirom da je koncentracija nedisosovane ugljene kiseline zanemarljiva, pod pojmom slobodne ugljene kiseline može se smatrati samo sadržaj rastvorenog CO_2 (pripadajućeg ili ravnotežnog i agresivnog) (Vukić, 2015.). Sadržaj CO_2 u površinskim vodama je obično oko 10 mg/L, dok podzemne vode u većini slučajeva daleko prelaze ovu vrijednost (Vukić, 2015.). Ako je količina ugljene kiseline u vodi veća od ravnotežne, tada se naziva *agresivna ugljena kiselina* i taj višak slobodne ugljene kiseline reaguje sa čvrstim kalcijum-karbonatom, uzrokujući njegovo rastvaranje:



Agresivna ugljena kiselina predstavlja onaj višak rastvorenog CO_2 u vodi koji djeluje korozivno, izazivajući svojim prisustvom smanjenje pH vrijednosti, a time i elektrohemijску koroziју u kotlovskim sistemima.

3.1.1.11. *Tvrdoća vode*

Tvrdoća vode je izrazito bitan parametar kvaliteta kako napojne vode, tako i sirove vode koja se koristi za pripremu te iste vode za napajanje kotlova. Tvrdoću vode čine rastvorene soli zemnoalkalnih metala, odnosno najčešće rastvorene soli kalcijuma i magnezijuma u vodi (*Brezonik i Arnold 2011; Đukić i sar., 2011*).

U zavisnosti od stepena uklanjanja jonskih vrsta koje čine tvrdoću, može se izvršiti podjela tvrdoće na stalnu i prolaznu.

Pod pojmom stalne tvrdoće, podrazumijevaju se rastvoreni sulfati, silikati, hloridi i nitrati kalcijuma i magnezijuma, koji se ne mogu ukloniti procesima hemijskog mekšanja, već zahtijevaju druge metode uklanjanja (*Stanga, 2010*).

Pojam prolazne ili trenutne tvrdoće predstavlja sadržaj u vodi rastvorenih bikarbonata kalcijuma i magnezijuma, koji se mogu ukloniti termičkim metodama ili procesima hemijskog mekšanja vode (*Đukić i sar., 2011; Stanga, 2010*).

Tvrdoća vode može biti prisutna kao:

- ✓ Ukupna tvrdoća (UT),
- ✓ Karbonatna tvrdoća (KT),
- ✓ Nekarbonatna tvrdoća (NT),
- ✓ Anjonska tvrdoća (AT),
- ✓ Bazna tvrdoća (BT).

Ukupnu tvrdoću (UT) vode čine svi prisutni joni Ca i Mg joni, koji se nalaze u ravnoteži sa svim anjonima u vodi, što znači da sve rastvorene soli kalcijuma i magnezijuma čine ovu vrste tvrdoće. Ukupna tvrdoća se ukratko predstavlja sljedećom relacijom:

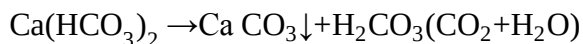
$$UT=CaT+MgT$$

gdje su CaT i MgT kalcijumova, odnosno magnezijumova tvrdoća, što znači da je ukupna tvrdoća u stvari jednaka sumi kalcijumove i magnezijumove tvrdoće.

Kalcijumova tvrdoća podrazumijeva sve rastvorene soli kalcijuma u vodi, dok magnezijumova tvrdoća obuhvata sve njegove rastvorene soli u vodi.

Karbonatnu tvrdoću (KT) čine rastvoreni bikarbonati i karbonati magnezijuma i kalcijuma. Bikarbonati predstavljaju pojam prolazne tvrdoće, zato što se uklanjaju termičkim

procesima, odnosno zagrijavanjem, što se vidi na sljedećoj hemijskoj reakciji (*Đukić i sar., 2011*):



Za pojam nekarbonatne tvrdoće se može reći da predstavlja razliku ukupne i karbonatne tvrdoće, predstavljeno relacijom:

$$\text{NT} = \text{UT} - \text{KT}$$

odnosno nekarbonatna tvrdoća predstavlja ravnotežu jona Ca^{2+} i Mg^{2+} sa hloridima, sulfatima, nitratima i silikatima.

Anjonska tvrdoća (AT) obuhvata sve anjone jakih mineralnih kiselina u vodi, dok bazna tvrdoća (BT) obuhvata ukupan sadržaj anjona u vodi (*Đukić i sar., 2011*). Bazna tvrdoća se kao i unazad spomenute tvrdoće može predstaviti izrazom, samo što u ovom slučaju pored soli jakih mineralnih kiselina, imaju i soli ugljene i silicijumove kiseline:

$$\text{BT} = \text{AT} + \text{CO}_2(\text{sve soli}) + \text{SiO}_2(\text{sve soli})$$

Tvrdoća vode nema definisanu svoju jedinicu u SI sistemu, može se izražavati u mgCaCO_3/L , ili u stepenima (njemačkim, francuskim i američkim). Opšteprihvaćena jedinica danas je mgCaCO_3/L .

Na osnovu ukupne tvrdoće, prirodne vode se dijele na (*Popović, 2001*):

- veoma meke (tvrdoća 0-70 $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$),
- meke (tvrdoća 70-140 $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$),
- srednje meke (tvrdoća 140-210 $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$),
- srednje tvrde (tvrdoća 210-320 $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$);
- tvrde (tvrdoća 320-540 $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$),
- veoma tvrde (tvrdoća preko 540 $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$).

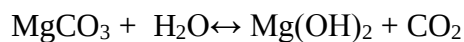
U sljedećoj tabeli dat je prikaz soli tvrdoće koje se mogu naći u vodi (*Đukić i sar., 2011*):

Tabela 3.2. Pregled kalcijumovih i magnezijumovih soli koji čine tvrdoću vode:

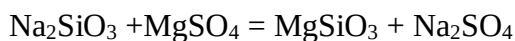
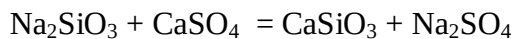
Vrsta soli	Hemijska formula	Tvrdoća		
Kalcijum bikarbonat	Ca(HCO ₃) ₂	Prolazna tvrdoća	Karbonatna tvrdoća	Ukupna tvrdoća
Magnezijum bikarbonat	Mg(HCO ₃) ₂			
Kalcijum karbonat	CaCO ₃	Stalna tvrdoća		
Magnezijum karbonat	MgCO ₃		Nekarbonatna tvrdoća	
Kalcijum hlorid	CaCl ₂			
Magnezijum hlorid	MgCl ₂			
Kalcijum sulfat	CaSO ₄			
Magnezijum sulfat	MgSO ₄			
Kalcijum nitrat	Ca(NO ₃) ₂			
Magnezijum nitrat	Mg(NO ₃) ₂			
Kalcijum silikat	CaSiO ₃			
Magnezijum silikat	MgSiO ₃			

Tvrdoća vode predstavlja glavni uzrok formiranja kotlovskog kamenca, te je iz tog razloga treba ukloniti iz sirove vode, koja će se koristiti za napajanje kotlova.

- u potpunosti u skladu sa literaturnim podacima termičkog raspadanja bikarbonata do slabo rastvornih karbonata prema reakcijama:



- interakcije između soli:



- presićenosti rastvora usljed povećanja koncentracije soli i
- presićenosti rastvora usljed povećanja temperature.

Karbonati kalcijuma i magnezijuma sa sobom povlače i rastvorene soli alkalnih metala, tako da u sastav kamenca mogu ući i natrijum-hlorid (NaCl), natrijum-nitrat (NaNO_3),

kalijum-nitrat (KNO_3) i kalijum-sulfat (K_2SO_4). Sadržaj hlorida u kamencu je relativno mali jer oni na povišenoj temperaturi disosuju stvarajući hloridnu kiselinu (HCl), koja opet djeluje korozivno.

Struktura i osobine kamenca zavise od učešća pojedinih soli, pa tako imamo (*Radovanović, 1996*):

- karbonatni kamenac, sa više od 90% m/m CaCO_3 (porozne ili kompaktne strukture, često sadrži MgO , MgCO_3 , i lako se odstranjuje);
- sulfatni, sa više od 90% m/m CaSO_4 (tvrd, kompaktne strukture i teško se odvaja od metalne podloge);
- pretežno karbonatni, sa 50-90% m/m CaCO_3 ;
- pretežno sulfatni, sa 50-90% m/m CaSO_4 ;
- silikatni, sa više od 39% m/m CaSiO_3 ili 33% m/m MgSiO_3 (vrlo tvrd, slabo provodi toplotu i stvara se na toplijim mjestima)
- mješoviti, koji sadrži CaCO_3 , Mg(OH)_2 , CaSO_4 i MgCO_3 .

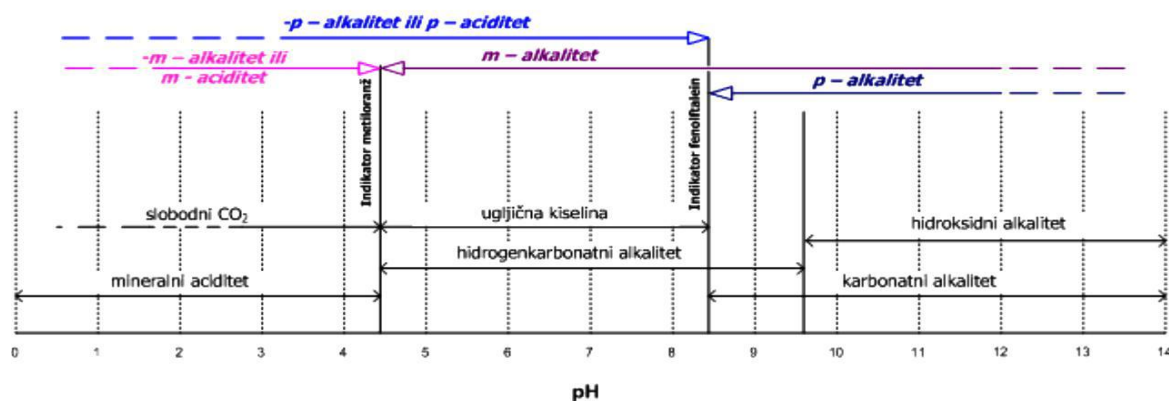
Kao što se vidi tvrdoća kamenca zavisi od sastava, pa se može reći da je najmekši karbonatni kamenac, a zatim tvrdoća, čvrstoća i kompaktnost rastu preko sulfatnog do silikatnog.

3.1.1.12. Alkalitet

Alkalitet vode je mjera prisustva jona slabih kiselina alkalnih i zemnoalkalnih metala. On predstavlja sposobnost vode da neutrališe jaku kiselinu, odnosno alkalitet predstavlja puferska svojstva vode, što znači da vode sa povišenim alkalitetom mogu da prime velike količine jake kiseline i jake baze bez značajnih promjena pH vrijednosti (*Vukić, 2015; Weiner i Matthews, 2003*).

Puferski sistem grade tri rastvorene specije i to: bikarbonat, karbonat i ugljena kiselina (*Stanga, 2010.*). Postoje dvije vrste alkaliteta: p- i m-alkalitet.

Svaki od alkaliteta se određuju titracijom standardnim rastvorom hloridne ili sulfatne kiseline ($c=0,1 \text{ mol/L}$) uz odgovarajući indikator. Indikator metiloranž se koristi za volumetrijsko određivanje m-alkaliteta, a fenolftalein za određivanje p-alkaliteta. Na slici su prikazane karbonatne vrste koje rastvorene u vodi reaguju sa mineralnom kiselinom pri titraciji sa odgovarajućim indikatorom.



Slika 3.3. Alkalitet i karbonatne vrste u vodi (Ljoljo, 2012)

Ukupni alkalitet po definiciji je suma karbonatnog (KA) bikarbonatnog (BA) i hidroksidnog (HA) alkaliteta.

$$m\text{-alkalitet} = KA + BA + HA$$

Parcijalni ili p-alkalitet je količinu jake mineralne kiseline koja se utroši pri titraciji vode uz fenolftalein, pri pH intervalu 8,2-8,4 a jednak je sumi hidroksidnog alkaliteta (HA) i polovine karbonatnog alkaliteta ($1/2 KA$):

$$p\text{-alkalitet} = HA + \frac{1}{2} KA$$

Alkalitet vode se izražava u $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$, kao i tvrdoća vode.

Prirodne vode sa manjom koncentracijom karbonatnih soli koji čine prirodni pufer sistem imaju alkalitet od $40 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$, dok vode sa povećanim rastvorenim karbonatnim solima imaju alkalitet od $200 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$ (Weiner i Matthews, 2003).

Alkalitet je od velikog značaja u slučajevima kada u omekšanoj vodi zaostanu količine taložnih sredstava (Na_2CO_3 , Ca(OH)_2) ili kada voda nije dovoljno omekšana taložnim sredstvima, pa se odnosom p- i m- alkaliteta kontroliše prisustvo ovih jedinjenja (Korać, 1975).

Alkalitet se iz vode uklanja na razne načine u zavisnosti od potrebnog kvaliteta vode i porijekla sirove vode.

3.1.1.13. Gvožđe i mangan

Gvožđe i mangan su uglavnom prisutni u podzemnim vodama, u kojima su njihove koncentracije daleko više u odnosu na površinske vode.

Gvožđe se u prirodnim vodama nalazi u četiri oblika i to: Fe(II), Fe(III), organski vezano i u obliku gvožđevitih bakterija (*Kukučka, 2013.*).

Divalentno gvožđe ne daje vodi boju, ali se u kontaktu sa kiseonikom iz vazduha brzo oksiduje i transformiše se u trovalentni željezni-hidroksid, Fe(OH)₃, karakteristične crveno-mrke boje (*Kukučka, 2013.*).

Od ovih spomenutih specija gvožđa, najčešće je Fe(II) jon vezan u kompleks sa anjonima huminskih i fulvo kiselina (*Kukučka, 2013.*).

U podzemnim vodama, gvožđe se javlja kao bikarbonat gvožđa Fe(HCO₃)₂ zahvaljujući slobodnom CO₂, u čijem prisustvu kiseonik iz vode i bikarbonat ne reaguju stvarajući taložne hidrokside, već bikarbonat ostaje u rastvoru, čak pri pH vrijednostima većim od 7 (*Povrenović, 2011; Kukučka, 2013.*). Dozvoljeni sadržaj gvožđa u napojnoj vodi jeste 0,2 mg/L (*Rajaković, 2007.*).

Mangan se u prirodnim vodama nalazi kao divalentan i u velikom broju slučajeva obavezni je pratilac gvožđa, a prilikom oksidacije do Mn(IV)oksida stvara braon-crne taloge i naslage (*Povrenović, 2011.*).

Postoje rijetki slučajevi prisustva mangana u povećanoj koncentraciji bez prisustva gvožđa u istom izvoru (*Povrenović, 2011.*).

Ako se ne uklone gvožđe i mangan iz sirove vode dolazi do obrazovanja kotlovskog mulja, koji negativno utiče na kotao (*Gajić i sar., 2010.*).

3.1.1.14. Silicijum

Silicijum se u prirodnim vodama nalazi u obliku različitih hemijskih jedinjenja, najčešće u molekulskom obliku H₂SiO₃ i mSiO₂·nH₂O i jonskom obliku (reaktivan oblik), u suspendovanom, koloidnom i polimernom obliku, odnosno nereaktivnom obliku (*Ignjatović i sar., 2015.*).

Svi rastvoreni oblici silicijuma se mogu prikazati sljedećom ravnotežnom jednačinom (*Ignjatović i sar., 2015.*)



Rastvorljivost silicijuma u vodi zavisi od više faktora, kao što su: temperatura, pritisak, pH vrijednost i jačina jonske veze (*Ignjatović i sar., 2015*).

Iako silicijum-dioksid direktno ne utiče na mehanizam korozije, od velikog je značaja jer na visokim temperaturama formira tvrde, guste i termički slabo provodjive taloge u kotlovima i turbinama, što dovodi do raznih gubitaka u termodinamičkoj i mehaničkoj efikasnosti datog hemijskog postrojenja (*Rajaković, 2007*). Stoga ga je potrebno ukloniti iz vode za energetske namjene.

3.1.1.15. Sadržaj hlorida i sulfata

Hloridni joni su izrazito reaktivni jer pospješuju koroziju na način da potiskuju slabije vezan kiseonik u zaštitnom sloju oksida magnetita (Fe_3O_4), koji predstavlja zaštitni sloj čelika (*Rajaković, 2007*).

Takođe, sulfati, SO_4^{2-} , isto kao i hloridi, imaju agresivno dejstvo prema zaštitnim slojevima čelika. Hloridi i sulfati se u povećanim koncentracijama češće nalaze u podzemnim vodama, nego u površinskim (*Popović, 2001*).

Sulfati u vodi potiču od prirodnih rastvorenih minerala, kao što je gips koji se javlja u tri oblika: anhidrit gipsa, CaSO_4 , gips-hemihidrat $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ i gips –dihidrat, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Takođe, sulfati mogu poticati i od barijum-sulfata, BaSO_4 i celestita SrSO_4 (*Amjad, 2011; Stanga, 2010*).

3.2. Industrijska voda

Voda u industriji se može koristiti:

- kao rashladna voda,
- za napajanje parnih kotlova (napojna voda),
- kao procesna ili tehnološka voda i
- voda za pranje

Voda predstavlja glavnu sirovinu u termoenergetskoj industriji i nezamjenjiva je zahvaljujući svojoj cijeni, toplotnom kapacitetu, kao i dostupnosti (*Angelovski i Čađenović-Milovanović, 2012*).

U sistemu kotlovskih postrojenja u termotehnici i termoenergetici pojavljuju se sljedeće vrste voda (*Radovanović, 1996*):

- voda za napajanje kotlova – smjesa povratne i dodatne vode za napajanje

kotlova (povratnu vodu kotlova za proizvodnju vodene pare čine razne vrste kondenzata, a kod kotlova za proizvodnju vrele vode to je voda koja se vraća iz razvodne mreže u kotao);

- *dodatna voda* – tehnološki pripremljena sirova voda, kojom se nadoknađuje gubitak vode u postrojenju i priključnoj razvodnoj mreži;
- *sirova voda* – prirodna voda koja neposredno ulazi u uređaje za pripremu vode (npr. riječna, jezerska, vodovodna, bunarska ili voda iz akumulacijskih jezera);
- *kondenzat* – voda dobijena kondenzacijom vodene pare u toplotnim i tehnološkim procesima;
- *kotlovska voda* – voda u kotlu od koje nastaje vodena para;
- *voda za regulaciju temperature pregrijane pare* – voda koja služi za hlađenje pregrijane pare neposrednim ubrizgavanjem u hladnjak;
- *vrela voda* – tehnološki obrađena voda temperature više od 110°C, koja služi kao radni fluid i nosilac toplote;
- *topla voda* – tehnološki obrađena voda temperature do 119°C, koja služi kao radni fluid i nosilac toplote;
- *rashladna voda* – sirova ili na odgovarajući način hemijski obrađena voda, koja služi kao rashladno sredstvo u postupcima posrednog hlađenja.

Svakako da primjena, ali i sastav sirove vode, određuje i njenu pripremu. Ukoliko se voda adekvatno ne pripremi za određenu namjenu u industriji, može izazvati niz negativnih pojava što za posljedicu ima poremećaj sistema u kojem se koristi, a što može dovesti do štete, zastoja i neodgovarajuće eksploatacije sistema. Posljedice prisustva rastvorenih primjesa (rastvorenih soli i gasova) u vodi su nastajanje kamenca, mulja, pojava korozije i pjenušanje vode.

Voda u jednom termoenergetskom postrojenju prethodno mora da se podvrgne mehaničkoj i hemijskoj pripremi, kako bi se uklonile neželjene i štetne primjese koje mogu prouzrokovati teškoće u radu ovih postrojenja. Razne vrste primjesa smanjuju efikasnost samog postrojenja, odnosno talože se, stvaraju mulj i obrazuju kamenac, koji dovodi do smanjenog prenosa toplote, što u najgorim slučajevima može dovesti do havarije sistema.

Glavni uzročnici poteškoća u radu termoenergetskog postrojenja su rastvorene soli u prirodnoj vodi, odnosno soli koje čine tvrdoću vode, ali i mnoge druge soli poput soli silicijuma, gvožđa, mangana i dr.

Soli koje izazivaju tvrdoću su soli kalcijuma i magnezijuma rastvorene u vodi, a ostale štetne soli su: soli natrijuma NaHCO_3 , Na_2SO_4 , NaNO_3 , NaCl (izazivaju pjenu u kotlu); soli gvožđa $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, FeSO_4 , koloidni $\text{Fe}(\text{OH})_3$, organska jedinjenja gvožđa i mangana $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$, MnSO_4 i dr. (Tomić i sar., 2009; Vukić, 2015; Popović, 2001). Potrebni kvalitet napojne vode se ostvaruje nizom različitih fizičko-hemijskih i tehnoloških procesa.

Napojna voda zbog potrebe za nesmetani rad sistema voda-para, treba da zadovolji sljedeće uslove: ne smije sadržavati korozivne materije, kao što su: mineralne i organske kiseline, masti, ulja, deteržente, rastvoreni O_2 i CO_2 ; materije koje ometaju mirno ključanje stvarajući pjenu (soli natrijuma), rastvorene neorganske soli, posebno soli kalcijuma i magnezijuma, soli silicijuma, hloride (Đukić i sar., 2011; Popović, 2001; Pavlovska et al., 2015). Kotlovski kamenac ima veoma štetnu ulogu i može izazvati brojne probleme. Usijani kotlovski lim i kotlovski kamenac imaju nejednaki koeficijent širenja, te poslije dužeg naprezanja i jednog i drugog materijala dolazi do prskanja kotlovskog kamena. Voda nailazi na usijanu površinu lima, naglo isparava stvarajući ogromne količine pare, time i veći pritisak, usljed čega dolazi do eksplozije kotla (Angelovski i Čađenović-Milovanović, 2012).

Takođe, pojava korozije itekako može da nanese štetu jednom termoenergetskom postrojenju. Korozija napojne vode nastaje usljed neadekvatne pripreme vode, pri pH vrijednosti nižoj od 8 i u prisustvu korozivnih gasova, CO_2 i naročito kiseonika (Đukić i sar., 2011). Nepoželjni efekti koji se pri tom ispoljavaju su: skraćenje vijeka trajanja opreme, smanjenje proizvodnih kapaciteta korodirane opreme, zastoje u radu, havarije i nesreće (Gajić i sar, 2010; Tomić i sar., 2009; Gajić i sar., 2010a; Marušić i sar., 2003).

Temperatura utiče na pojavu opšte korozije čelika, od čega je kotao izgrađen, tako što povećavanjem temperature dolazi do prekrivanja čitave površine prevlakama magnetita, Fe_3O_4 (Gajić i sar., 2010; Tomić i sar., 2009). Na proces korozije inhibitori djeluju kotlovski kamenac, odnosno taloženje CaCO_3 , koje negativno utiče na proces prenosa toplote u kotlovskim sistemima (Pontius i Clark, 1999).

Hemijski parametri kvaliteta vode, koje je potrebno pratiti kad se voda koristi za energetske svrhe, prije svega su: pH-vrijednost, rastvoreni gasovi (CO_2 i O_2), tvrdoća vode, alkalitet, hloridi, sulfati, gvožđe, mangan i silicijum (Rajaković i Kerečki, 2003; Rajković-Ognjanović, 2011).

Sve ove karakteristike ukazuju na moguće postupke pripreme sirove vode, odnosno procjenu mogućih posljedica tokom upotrebe vode, kao i kontrolu zadanih, projektovanih i izvedenih vrijednosti.

U tabeli 3.3. prikazani su parametri i njihove granične vrijednosti koje napojna voda treba da zadovolji za sistem voda-para, odnosno u sistemu parnog kotla.

Tabela 3.3. Vrijednosti kontrolnih parametara demi vode za sistem voda-para u termoelektrani (Rajaković, 2007)

Parametar	Granična vrijednost
pH	8,8-9,2
Provodljivost, $\mu\text{S}/\text{cm}$	$\leq 0,02$
Sadržaj natrijuma, $\mu\text{g}/\text{L}$	≤ 10
Sadržaj hlorida, $\mu\text{g}/\text{L}$	≤ 10
Sadržaj gvožđa, $\mu\text{g}/\text{L}$	≤ 20
Sadržaj bakra, $\mu\text{g}/\text{L}$	≤ 3
Sadržaj silicijuma, $\mu\text{g}/\text{L}$	≤ 20
Sadržaj masti i ulja, $\mu\text{g}/\text{L}$	≤ 100
Sadržaj organskih materija, $\mu\text{g}/\text{L}$	≤ 3000

Parni kotao predstavlja objekat u kome se toplotna energija, dobijena sagorijevanjem goriva (ugalj, nafta, zemni gas i dr.) prenosi preko grejnih površina na radni fluid (vodu), koji isparava i čija se para pregrijava do određenog pritiska i temperature (*Tomić i sar., 2009*).

Pravilo je da se voda kvaliteta demineralizovane vode koristi za napajanje kotlova visokog pritiska jer su kotlovi visokog pritiska podložni oštećenjima usljed rastvorenih soli, taloženja oksida metala i pojave korozije, za razliku od kotlova niskog pritiska koji koriste omekšanu vodu za napajanje istih (*Betz, 1991; Kurita, 1999*). Kotlovi niskog pritiska se susreću sa problemima povišene tvrdoće i taloženja silikatnog kamenca, kao i pojave korozije usljed dejstva kiseonika i ugljen-dioksida (*Kurita, 1999*).

U tabeli 3.4, navedene su zahtjevane karakteristike vode za napajanje kotlova, kao i vode u kotlu za proizvodnju vrele vode. Ove vrijednosti su propisane standardom EN 12953-10:2003 za kvalitet napojne i kotlovske vode, za kotlove koji rade pod različitim režimom.

Tabela 3.4. Karakteristike vode za napajanje parnih kotlova (osim za kotlove sneposrednim ubrizgavanjem vode) i kotlova za proizvodnju vrele vode

Parametar	Jedinica	Voda za napajanje parnih kotlova		Kotlovska voda za proizvodnju vrele vode
Radni pritisak	bar (= 0,1MPa)	>0,5 do 20	>20	Ukupne granice
Izgled	---	Bistra, bez suspendovanih materija		
Direktna provodljivost	$\mu\text{S/cm}$	Nije propisana, treba slijediti vrijednosti relevantne za kotlovsku vodu		
		< 6000	od 3000-6000	
pH-vrijednost na 25°C ^a	---	>9,2 ^b	>9,2 ^b	>7,0
Ukupna tvrdoća (Ca+Mg)	mmol/L	<0,01 ^v	<0,01	<0,05
Gvožđe (Fe)	mg/L	<0,3	<0,1	<0,2
Bakar (Cu)	mg/L	<0,05	<0,03	<0,1
Silicijum (Si)	mg/L	Koncentracija nije propisana, i zavisna je od radnog pritiska		
Kiseonik (O ₂)	mg/L	<0,05 ^g	<0,02	---
Ulje/masnoće	mg/L	<1	<1	<1
Organske supstance (kao TOC)	---	Vidi fusnotu ^e		

^a Sa legurom bakra u sistemu, pH vrijednost treba podesiti u granicama 8,7-9,2.

^b Kod omekšane vode sa pH vrijednošću >7,0, pH mora biti podešena zavisno od radnog pritiska na 10,0-12,0.

^v Kod radnog pritiska <1 bar ukupna tvrdoća treba biti maksimalno 0,05 mmol/L.

^g Umjesto da se kontroliše ova vrijednost, u naizmjeničnim operacijama ili operacijama bez deaeratora treba biti upotrebljen agens za formiranje filma i/ili sakupljač viška kiseonika.

^e Organske supstance generalno predstavljaju smjesu različitih jedinjenja. Sastav takve smjese i ponašanje njenih pojedinačnih komponenata unutar uslova procesa u kotlu, teško je predvidjeti. Organske supstance se mogu razložiti do forme ugljene kiseline ili drugih kiselih produkata koji povećavaju provodljivost, uzrokuju koroziju i depozite. Ovi produkti razgradnje takođe mogu uzrokovati pjenjenje, koje mora biti što je manje moguće.

Navedene preporuke predstavljaju maksimalno dozvoljene vrijednosti, čije održavanje u potpunosti obezbjeđuje pouzdan rad parnih kotlova i turbina. Održavanje ovih uslova danas je više ekonomski nego tehnološki problem.

3.2.1. Priprema napojne vode

Glavni postupci obrade (pripreme) napojne vode su:

- mehanička obrada,
- bistrenje vode (koagulacija, flokulacija, filtracija),
- termički postupci,
- hemijski postupci,
- deferizacija i demanganizacija,

- jonska izmjena,
- membranski postupci,
- degazacija (uklanjanje O₂, CO₂ i H₂S)

3.2.2. Mehanička obrada

U sekciji mehaničke obrade, uklanjaju se mehaničke primjese. Mehaničke primjese su sve one čestice, čija je veličina veća od $1 \cdot 10^{-7}$ m (*Gajić i sar., 2010a*). U vodi se nalaze najčešće u lebdećem stanju, pretežno u površinskim vodama, za razliku od podzemnih gdje se ne mogu naći mehaničke nečistoće, pa podzemne vode zaobilaze ovu sekciju, one direktno idu na liniju za bistrenje vode.

Površinska voda koja sadrži krupne mehaničke nečistoće, kao što su grane drveća, lišće, nekakvi predmeti i sl. mora proći kroz odgovarajuće rešetke, sita, koji zadržavaju te nečistoće, a propuštaju vodu koja dalje ide kroz druge faze obrade. Tako očišćena voda od mehaničkih primjesa ulazi u postrojenje za bistrenje vode.

3.2.3. Bistrenje vode

Pod bistrenjem vode se podrazumijeva postupak uklanjanja fino suspendovanih i koloidno dispergovanih čestica koje predstavljaju замуćenje u vodi. Bistrenje se postiže na nekoliko načina (*Vukić, 2015*):

- a) gravitaciono taloženje (sedimentacija),
- b) koagulacija i flokulacija, a zatim sedimentacija ili filtracija,
- c) centrifugalno taloženje,
- d) flotacija,
- e) filtracija.

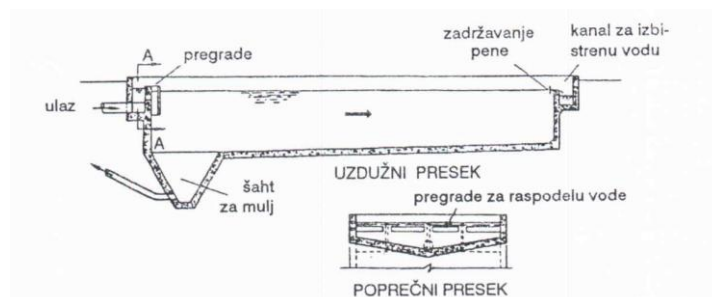
Koji od načina će se koristiti zavisi od vrste onečišćenja i prirode sam te vode, odnosno porijekla vode koja ulazi u obradu i pripremu napojne vode.

Bistrenjem vode **gravitacionim taloženjem** uklanjaju se suspendovane čestice gustine veće od gustine vode. Gravitaciono taloženje, odnosno sedimentacija je proces taloženja suspendovanih čestica, usljed smanjenja brzine proticanja kroz poprečni presjek taložnika (*Popović, 2001*).

Veće dimenzije čestica, laminarni tok (manja brzina strujanja), viša temperatura i veća razlika u gustini čestica i vode, povećavaju brzinu taloženja.

Stepen uklanjanja suspendovanih materija i zamućenja se kreće u rasponu od 50-90%, što zavisi od prirode čestica, stepena prethodne obrade i dizajna taložnika (Vukić, 2015).

Šematski prikaz jednog takvog taložnika dat je na slici.

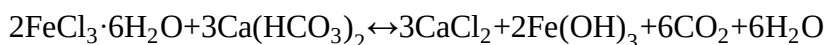
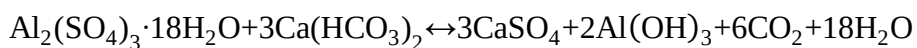


Slika 3.4. Šema pravougaonog taložnika (Vukić, 2015)

Koagulacija i flokulacija predstavljaju proces kojim se koloidne nečistoće, koje se vrlo teško talože, prevode u taložni oblik i na taj način se uklanjaju (Popović, 2001). Koloidno dispergovane čestice čine dio zamućenja u površinskim vodotocima koji nije moguće istaložiti pod uticajem gravitacije, zato se i primjenjuju postupci koagulacije i flokulacije. Koloidi su po pravilu negativno naelektrisani u prirodnim vodama (Popović, 2001).

Koagulacija je hemijski postupak destabilizacije koloida sa materijama, koji se nazivaju koagulant, koji imaju sposobnost da neutrališu negativne koloidne u vodi i da izazovu njihovo taloženje (Popović, 2001). Cilj procesa flokulacije je obrazovanje stabilnih agregata, koji se mogu ukloniti gravitacionim taloženjem i filtracijom

Najčešće korišćeni koagulant su: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ i $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Takođe, u sredstva za koagulaciju se ubrajaju natrijum-aluminat (NaAlO_2), gvožđe(II)-sulfat (FeSO_4) i gvožđe(III)-sulfat ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) (Vukić i Papuga, 2015). Prilikom hidrolize ovih koagulanata, stvaraju se nerastvorni hidroksidi (prema reakcijama),



koji se dijelom disperguju u obliku pozitivno naelektrisanih koloidnih čestica. Ove čestice privlače negativno naelektrisane koloidne čestice nečistoća adsorbiraju ih i neutrališu (Popović, 2001).

Nakon koagulacije, slijedi faza flokulacije, koja predstavlja postupak povećanja zapremine, mase i kohezije koagulisanih koloidnih čestica. Flokulacija se može definisati kao proces dalje aglomeracije, u kojem se kao dopunski efekat javlja kontakt između čestica, posredstvom molekula flokulanata putem tzv. *molekulskog premošćavanja*.

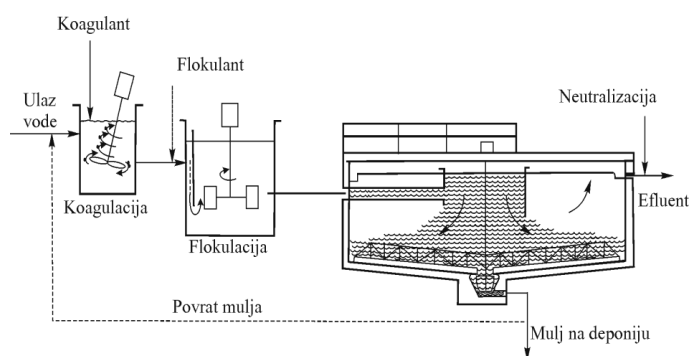
Koagulisane koloidne čestice se pomoću flokulanata ukрупnjavaju i gube svoju gustinu, pri čemu se talože. Što se tiče polielektrolita, oni se dodaju u od 20 do 50 puta manjoj količini od primarno dodatih flokulanata, odnosno koagulanata. Najprije se dozira primarni flokulant, pa se nakon njegove hidrolize dozira sekundarni flokulant, najčešće je to anjonski polielektrolit. Osim, polielektrolita, flokulanti su: aktivirana silicijumova kiselina (SiO_2), bentoniti, određene gline, aktivni ugalj, skrob i dr (Popović, 2001).

Za bolje formiranje i brži rast flokula, potrebno je obezbijediti lagano miješanje u toku 20 do 30 minuta (Vukić, 2015).

Nakon završene flokulacije, potrebno je iz vode ukloniti nastale flokule, odnosno izvršiti njihovu separaciju. To se izvodi gravitacionim taloženjem, nakon čega slijedi završno bistrenje filtracijom.

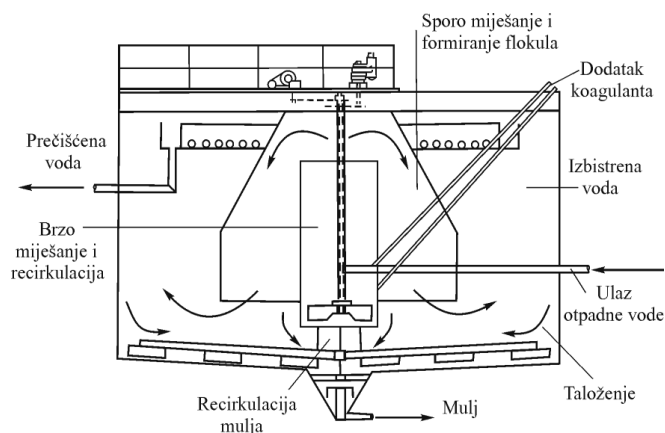
Na sam proces koagulacije i flokulacija utiče više faktora: pH vode, vrsta i koncentracija koloidnih primjesa (mineralne ili organske materije), vrsta i količina polielektrolita, temperatura vode, režim miješanja, konstrukcija uređaja i dr. (Amjad, 2011; Vukić, 2015).

Na slici 3.5. prikazan je proces kogulacije i flokulacije, izveden u tri faze (koagulacija, flokulacija i taloženje).



Slika 3.5. Koagulacija i flokulacija (Vukić i Papuga, 2015)

Na slici je prikazana modernija verzija bistrenja vode koagulacijom i flokulacijom, u tzv. Brzom taložniku - akceleratoru.



Slika 3.6. Šema brzog taložnika (akceleratora) (Vukić, 2015)

Akceleratori su uređaji kompaktne strukture, koji zauzimaju relativno manji prostor u odnosu na klasično postrojenje i u njima se cjelokupni proces bistrenja (koagulacija + flokulacija + taloženje) odvija daleko brže (Vukić, 2015).

Nakon postupka taloženja, slijedi faza filtracije. **Filtracija** služi za uklanjanje zaostalih suspendovanih i koloidnih čestica prolaskom vode kroz porozni medij.

U procesu filtracije voda se tako oslobađa suspendovanog sadržaja prolaskom kroz porozni materijal, koji može biti različitog sastava i porijekla (Vukić, 2015).

Filtracioni materijal (medijum ili ispuna) je zrnaste strukture, po mogućnosti ujednačene granulacije po slojevima, koji mora da ispunjava najmanje dva uslova:

- ✓ postojanje mehaničke otpornosti pri različitim radnim uslovima,
- ✓ hemijska inertnost prema svim konstituentima vode.

Najčešće korišćeni filtracioni materijal jeste pijesak i to: krupniji kao podloga, a sitno granulirani kvarcni pijesak sa visokim procentom SiO_2 koristi se kao gornja ispuna filtra).

U savremenoj praksi sve češće se koristi i antracit, tvrdi kameni ugalj, čija se granulacija podešava na 1,5-2 mm. Može se koristiti kao jedina ispuna, ali najčešće ide u kombinaciji sa slojem pijeska (antracit je u gornjem sloju) i tada govorimo o dvomedijumskom filtru (Popović, 2001).

Prema načinu rada, pješčani filtri koji se koriste u pripremi industrijske vode, mogu biti:

- spori gravitacioni filtri,
- brzi gravitacioni filtri i
- zatvoreni filtri koji rade pod pritiskom.

Spori filtri se inače primjenjuju za filtriranje prirodnih voda koje ne zahtijevaju postupak obrade sa koagulacijom i flokulacijom (Povrenović, 2011).

Brzi otvoreni pješčani filtri su armiranobetonski bazeni, pravougaonog ili kvadratnog oblika, dubine 2-3 metra. Na dnu filtra se nalazi drenažni sistem od tzv. lažnih perforiranih ploča, koje pospješuju filtraciju. Na tim perforiranim pločama postavljeni su slojevi šljunka i pijeska, čime se postiže ukupna dubina filtracionog sloja 1-2 metra (*Đukić i sar., 2011; Vukić, 2015*). Ovi filtri su dio postrojenja za bistrenje vode nakon procesa koagulacije i flokulacije, odnosno taloženja. I kao takvi se koriste najčešće za uklanjanje istaloženih soli nakon procesa hemijskog mekšanja ili procesa deferizacije vode.

Zatvoreni pješčani filtri su jedni od najčešće korišćenih filtara iz razloga što rade pod pritiskom, pa im je kvalitet filtracije daleko bolji. Pijesak koji se koristi kao filtracioni materijal je kvarcni pijesak, granulacije 1-2 mm (*Đukić i sar., 2011*). Filtarska ispuna je od finog sitnog pijeska na vrhu i različitim slojevima šljunka u sredini, ukupne debljine ispune 1-3 m.

Brzina filtracije je 3,5-18 m/h, odnosno 100-120 m/d, a radni pritisci obuhvataju interval 1,5-4 bar, ponekad i 6 bar (*Vukić, 2015; Šušteršič, n.d.*). Ovi filtri se koriste za uklanjanje mutnoće vode, tvrdoće vode, ulja i drugih organskih materija, kao i gvožđa i mangana iz vode.

3.2.4. Mekšanje vode

Nakon filtracije vode, slijedi proces uklanjanja tvrdoće. Tvrdoća se mora ukloniti iz napojne vode, jer pri otparavanju ove vode dolazi do taloženja soli kalcijuma i magnezijuma na unutrašnjim grijanim površinama kotla i tako dolazi do obrazovanja kamenca. Mekšanje vode može biti potpuno (uklanjanje ukupne tvrdoće vode) i djelimično ili dekarbonizacija (uklanjanje karbonatne tvrdoće), što zavisi od zahtjevanog kvaliteta vode i njene dalje upotrebe. Za ovu namjenu se mogu koristiti termički, hemijski i fizičko-hemijski postupci obrade vode.

Dekarbonizacija se može provesti termičkim i hemijskim postupcima ili postupkom jonske izmjene

Termičkom dekarbonizacijom se bikarbonati kalcijuma i magnezijuma na povišenoj temperaturi prevode u slabo rastvorne karbonate, prema sljedećim reakcijama (*Vukić, 2015; Gaćeša i Klašnja, 1994*):



Termička dekarbonizacija se primjenjuje kod voda, koje imaju visoku karbonatnu tvrdoću i koje se koriste u industriji kao rashladna voda ili za napajanje parnih kotlova niskog i srednjeg pritiska (*Vukić, 2015*).

3.2.5. Hemijski postupci

Hemijsko omekšavanje vode se zasniva na dodatku pogodnog reagensa u vodu, pri čemu se rastvorene soli kalcijuma i magnezijuma prevode u slaborastvorna ili nerastvorna jedinjenja, koja se iz sistema uklanjaju taloženjem, filtracijom ili bilo kojim postupkom bistrenja vode.

Postoji više hemijskih taložnih sredstava, a najčešće se koriste (*Popović, 2001; Gaćeša i Klašnja, 1994*):

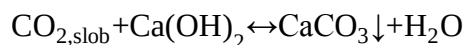
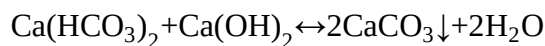
- kreč u obliku krečne vode ili krečnog mlijeka - Ca(OH)_2 ,
- soda – Na_2CO_3 ,
- natrijum hidroksid – NaOH ,
- soli fosfatne kiseline – Na_3PO_4 , Na_2HPO_4 , NaH_2PO_4 , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ i dr.

S obzirom da apsolutno nerastvorne materije ne postoje i ovdje se može očekivati izvjesna rezidualna tvrdoća, koja se zavisno od zahtjevanog kvaliteta obrađene vode, može ukloniti nekim drugim postupkom (jonska izmjena ili membranska separacija).

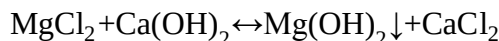
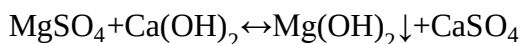
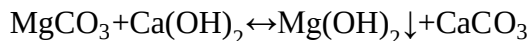
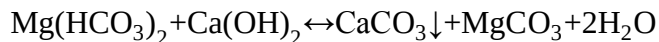
Od svih postupaka za uklanjanje tvrdoće u pripremi kotlovske napojne vode, danas se najčešće koristi postupak sa krečom, jer je jeftin, sa dodatkom fosforne kiseline i njenih soli radi uklanjanja zaostale tvrdoće, prevodeći je u mulj (*Dalmacija i sar., 2012; Gaćeša i Klašnja, 1994*). Potpuno omekšavanje vode se radi jonskom izmjenom, o kojoj će biti riječ u nastavku rada.

Postrojenje za izvođenje dekarbonizacije sa krečom se sastoji od: reaktora, opreme za pripremu i doziranje kalcijum-hidroksida, Ca(OH)_2 , i opreme za pripremu i doziranje sredstava za flokulaciju (*Rajaković, 2007*). U reaktor, uz intenzivno miješanje se uvodi sirova voda kojoj se dodaju Ca(OH)_2 i FeCl_3 . Postupak se može vršiti na toplo (oko 80°C) i na hladno (oko 20°C).

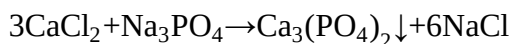
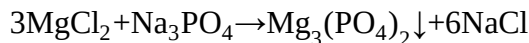
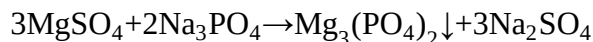
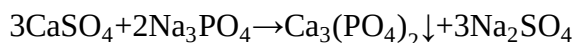
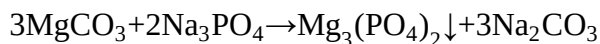
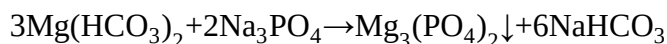
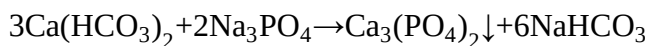
Kada se vrši na hladno, dolazi do uklanjanja $\text{Ca(HCO}_3)_2$ i slobodne ugljene kiseline, odnosno slobodnog CO_2 , prema sljedećim reakcijama (*Popović, 2001; Rajaković, 2007*):



Na toplo, dolazi do izdvajanja cjelokupne karbonatne (KT) i magnezijumove nekarbonatne tvrdoće (MgNT), kao što je prikazano reakcijama (*Popović 2001*):

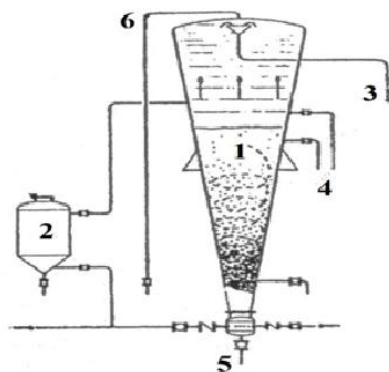


Nakon postupka sa krečom, kao završna faza se dodaje Na_3PO_4 , gdje dolazi do taloženja jona kalcijuma i magnezijuma u vidu $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, odnosno $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$, što se vidi na sljedećim reakcijama:



Ovi talozi su jako voluminozni i oni za sobom povlače silicijumovu kiselinu, čime je i spriječeno obrazovanje silikatnog kamenca (*Dalmacija i sar., 2012*). Razlozi za dodavanje trinatrijum fosfata na kraju postupka mekšanja, odnosno za uklanjanje samo ostatne tvrdoće, su u visokoj cijeni, ali i u tome što se nastali NaHCO_3 obrazovan usljed direktnog mekšanja u kotlu termički razlaže na nepoželjne produkte NaOH i CO_2 , što povećava alkalitet u napojnom kotlu odnosno što dolazi do pojave korozije u sistemu (*Dalmacija i sar., 2012; Đukić i sar., 2011.*).

Izvođenje omekšavanja vode sa kreč postupkom vrši se najčešće u uređaju koji se zove brzi pješčani reaktor (slika 3.7.).



Slika 3.7. Šematski prikaz pješčanog reaktora za dekarbonizaciju: 1-reaktor; 2-sud sa prahom za katalizu (pijesak); 3-odvod dekarbonizovane vode; 4-slavine za uzimanje uzoraka i praćenje procesa dekarbonizacije; 5-pražnjenje iskorištenog katalizatora sa talogom CaCO_3 ; 6-evakuacija vazduha (Dalmacija i sar., 2012)

Pored Na_3PO_4 , mogu se koristiti i drugi fosfati, kao npr.: dinatrijum fosfat (Na_2HPO_4), mononatrijum fosfat (NaH_2PO_4), diamonijum fosfat ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$), kao i fosforna kiselina (H_3PO_4).

Nedostatak ovog uređaja je u tome što se ne može koristiti za vodu sa visokom MgT , niti sa visokim sadržajem koloida. Često se nakon postupka dekarbonizacije, bistrenje vodi provodi na bateriji ultrafiltracije, koja je integrisana u cjelokupan sistem djelimičnog mekšanja krečom (Dalmacija i sar., 2012).

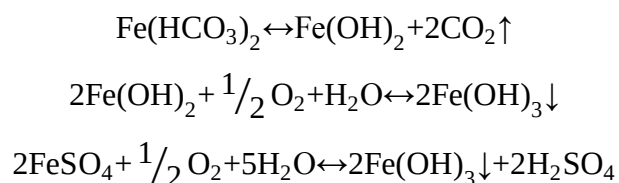
S obzirom da apsolutno nerastvorne materije ne postoje i ovdje se može očekivati izvjesna rezidualna tvrdoća, koja se zavisno od zahtjevanog kvaliteta obrađene vode, može ukloniti nekim drugim postupkom (jonska izmjena ili membranska separacija).

3.2.6. Deferizacija i demanganizacija

U pripremi napojne vode, potrebno je izvršiti i uklanjanje soli gvožđa i mangana iz prirodne vode, postupcima deferizacije i demanganizacije.

Načini izvođenja ova dva procesa zavise od vrste soli gvožđa i mangana, odnosno od oblika u kome se ova dva elementa nalaze u vodi (Šušteršič, n.d.). Što se tiče površinskih voda, tu koncentracija gvožđa ne prelazi više od 3 mg/L i gvožđe je najčešće vezano u kompleks sa organskim materijama, pa dolazi do malo složenije deferizacije (Đukić i sar., 2011). Uklanjanjem ovih jona iz vode, sprječava se prirodno obrazovanje nerastvornih hidroksida, koji u vidu mulja stvaraju naslage u cjevovodima jednog industrijskog sistema, i rast bakterija koje troše gvožđe i čiji produkti utiču korozivno na cijevi postrojenja.

Postupci deferizacije i demanganizacije počivaju na prevođenju rastvorljivih Fe(II) i Mn(II) soli u slabo rastvorne Fe(OH)₃ i Mn(OH)₄, odnosno MnO₂. Reakcije deferizacije su sljedeće:



Pošto se u podzemnoj vodi gvožđe nalazi najčešće u obliku gvožđe-bikarbonata, Fe(HCO₃)₂ ili čak u obliku Fe(II)sulfata, za njegovo uklanjanje koristi se postupak aeracije. Taj sam postupak aeracije pomoću uduvavanja vazduha kroz vodu pod pritiskom ili raspršivanje vode u struji vazduha, dovodi do oksidacije Fe(II) jona u Fe(III)jone, tj. dešava se taloženje Fe(OH)₃, gdje se voda uvodi u retencioni bazen na 30 do 60 minuta kako bi se ostvarila potpunija oksidacija i potpunije taloženje hidroksida (*Šušteršič, n.d.*).

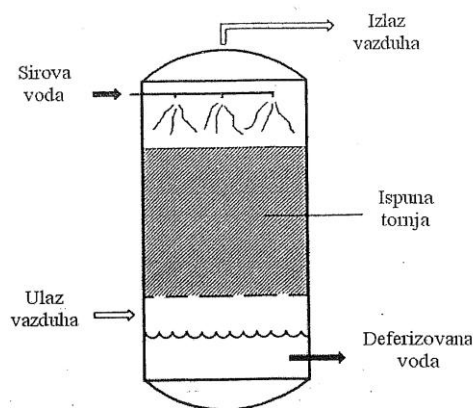
Nakon toga voda ide na filtraciju, kako bi se odstranio nastali hidroksid, a bistra voda otišla na sljedeće sekcije obrade (*Šušteršič, n.d.*).

Kada su vode bogate većim koncentracijama gvožđa, koji grade komplekse sa u vodi prisutnim huminskim i fulvo-kiselinama, što se odnosi na određene vrste podzemnih voda, onda postupci uklanjanja podrazumijevaju dodatne operacije obrade, koje obuhvataju (*Gržetić, 2010; Rajaković 2007*):

- oksidaciju pomoću Cl₂, ClO₂, O₃ i KMnO₄,
- koagulaciju pomoću Al₂O₃, Al₂(SO₄)₃ ili FeCl₃,
- flokulaciju.

Ove dodatne faze obrade se dešavaju između procesa aeracije i filtracije.

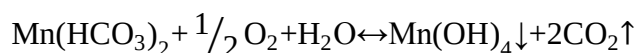
Teoretski se pretpostavlja da 1 mgO₂/L oksiduje oko 7 mgFe²⁺/L (*Wang et al., 2006*). Na sljedećoj slici je prikazana šema tornja za deferizaciju vode.



Slika 3.8. Šematski prikaz procesa deferizacije (Đukić i sar, 2011)

U ovim procesima uklanjanja koristi se aeracija, gdje se u vodu prilikom raspršivanja uvodi kiseonik potreban za oksidaciju, a istovremeno istjeruje CO_2 , što pogoduje izdvajanju gvožđa i mangana. Ukoliko joni gvožđa nisu potpuno uklonjeni, dodatno se uklanjaju u fazi jonske izmjene.

Reakcija pri procesu demanganizacije je sljedeća:



Proces demanganizacije se u velikom broju slučajeva vrši zajedno sa deferizacijom, što podrazumijeva da je ovo u stvari jedan postupak. Ako zajednički proces deferizacije i demanganizacije nije moguće odraditi odjednom, poželjno je da se deferizacija odradi prije demanganizacije.

Gornja reakcija izdvajanja mangan-hidroksida je dosta spora, pa se mora ubrzati i to najčešće sa KMnO_4 ili sa Cl_2 . Cilj dodatka ovih oksidanasa jeste stvaranje MnO_2 , koji katalitički djeluje na reakciju taloženja mangana u vidu $\text{Mn}(\text{OH})_4$ jer se na taj način lakše uklanja iz vode.

Proces demanganizacije otežavaju visoke koncentracije NH_4^+ i Cl^- jona, kao i veliko prisustvo rastvorenih organskih materija (Đukić i sar., 2011). Kisele vode takođe usporavaju demanganizaciju, zato je i opravdano dodavanje jakih oksidanasa, kao što je O_3 i prethodno spomenuti oksidansi.

3.2.7. Jonska izmjena

Jonska izmjena je fizičko-hemijski postupak koji je danas dominantan u tehnologiji pripreme vode za industrijske namjene, a služi za djelimično ili potpuno uklanjanje mineralnih sastojaka iz vode. Postupci jonske izmjene se provode pomoću makromolekulskih supstanci, koje nazivamo mjenjačima jona.

Mjenjači jona su ustvari čvrste, u vodi nerastvorne materije neorganskog porijekla (zeoliti, permutiti) i organskog porijekla (vještačke smole, aktivni ugljevi), koje imaju sposobnost izmjene svojih jona sa ekvivalentnom količinom jona iz vode. Imaju strukturu umrežene kristalne rešetke u kojoj su na određenim mjestima locirane aktivne ili funkcionalne grupe. Na aktivne grupe su jonskom vezom vezani katjoni ili anjoni koji se prilikom prolaska (filtracije) vode kroz sloj mjenjača, izmjenjuju sa ekvivalentnom količinom katjona ili anjona iz vode. Niz je prednosti ove tehnike obrade vode u odnosu na hemijske postupke (Popović, 2001):

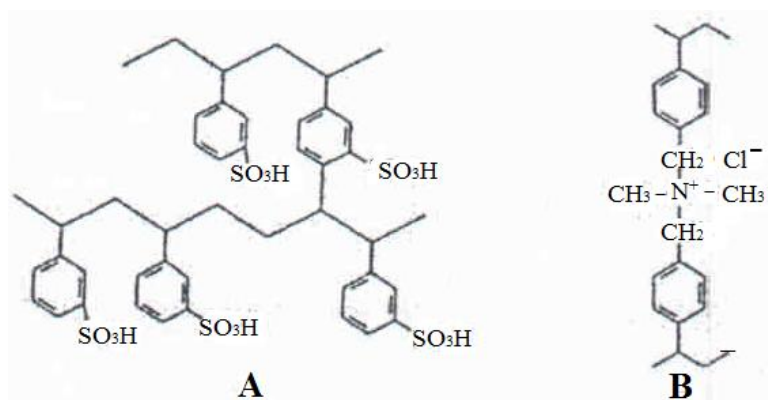
- reakcije su brže (time su i uređaji manjih dimenzija);
- potpunije uklanjanje nepoželjnih sastojaka;
- nema pojave taloga (nema naknadnog bistrenja vode);
- proces se izvodi na hladno pa nema toplotnih gubitaka;
- kombinacijom različitih mjenjača jona može se dobiti voda zahtjevanog kvaliteta (omekšana ili potpuno demineralizovana voda).

Zavisno od toga da li izmjenjuju katjone ili anjone, mjenjači jona se dijele na katjonske i anjonske, koje opet, prema stepenu disocijacije funkcionalnih grupa, možemo podijeliti na:

- slabo kisele katjonske - aktivne grupe: karboksilna ($-\text{COOH}$) i fenolna ($-\text{OH}$);
- jako kisele katjonske – najčešća aktivna grupa sulfonska (kod kisele izmjene $-\text{SO}_3\text{H}$, a kod neutralne izmjene $-\text{SO}_3\text{Na}$);
- slabo bazne anjonske – aktivne grupe su amini (primarni $-\text{NH}_2$, sekundarni $-\text{NHR}$, tercijski $-\text{NR}_2$);
- jako bazne anjonske – aktivna grupa je kvarterna amonijeva baza ($-\text{NR}_3^+$).

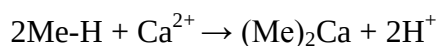
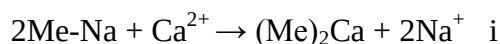
Tipično izmjenjivi joni kod katjonskih masa su H^+ i Na^+ , a kod anjonskih OH^- i Cl^- .

Danas se najčešće koriste vještački mjenjači jona ili vještačke smole, koji se dobijaju postupcima polimerizacije i kondenzacije. Polazna jedinjenja kod postupka polimerizacije su stiren i divinilbenzen, a kod postupka kondenzacije fenol i formaldehid. Primjer katjonske i anjonske smole na bazi polistirena, dat je na slici 3.9.

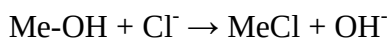


Slika 3.9. Struktura mjenjača jona na bazi polistirena: A-katjonska smola; B-anjonska smola (Dalmacija i sar., 2012)

Ako se osnovna stuktura ili skelet mjenjača jona (nepokretni jon) označi sa Me , i ako je za njega vezan izmjenjivi jon (pokretni jon), tada se reakcije mogu predstaviti na sljedeći način (Dalmacija i sar., 2012):



Prvi slučaj predstavlja neutralnu izmjenu katjona, jer nema promjene kiselosti izlazne vode, dok se u drugom slučaju radi o kiseloj izmjeni, jer se iz smole u vodu otpuštaju vodonikovi joni čineći je kiselom. Kada je u pitanju mjenjač anjona ta je reakcija:



Mjenjači jona pokazuju različit afinitet prema jonima koje izmjenjuju, pa brzina jonske izmjene zavisi od više faktora: valentnosti jona i njihovog naelektrisanja, efektivnog prečnika jona, stepena hidratacije, koncentracije i odnosa koncentracija pojedinih jona u vodi, strukture i osobina smole i dr.

Izmjena jona se vrši propuštanjem (filtracijom) vode kroz smole u uređajima kolonskog tipa (filtrima) i predstavlja diskontinuiran proces. U praksi filter (kolona) obično nosi naziv prema vrsti smole kojom je napunjen (katjonski, anjonski ili miješani filter).

Radni ciklus filtra se sastoji od faze iscrpljivanja i faze regeneracije mase, između kojih se vrši rahljenje mase povratnim pranjem, a na kraju ispiranje viška regeneracionog sredstva. Tokom filtracije vode kroz sloj mjenjača, zona izmjene putuje kroz filtracioni sloj, dok ne dođe do tačke proboja jona koji se izmjenjuju, nakon čega se pristupa regeneraciji mase.

U praksi se uglavnom instaliraju dva kolonska filtra, od kojih je jedan u fazi iscrpljivanja, dok se u drugom regeneriše jonska masa. Kao sredstva za regeneraciju, zavisno od vrste mjenjača jona, koriste se hloridna kiselina (HCl), soda (Na_2CO_3) i kuhinjska so (NaCl). Pri tome se najčešće koriste sljedeći vodeni rastvori (Korać, 1975):

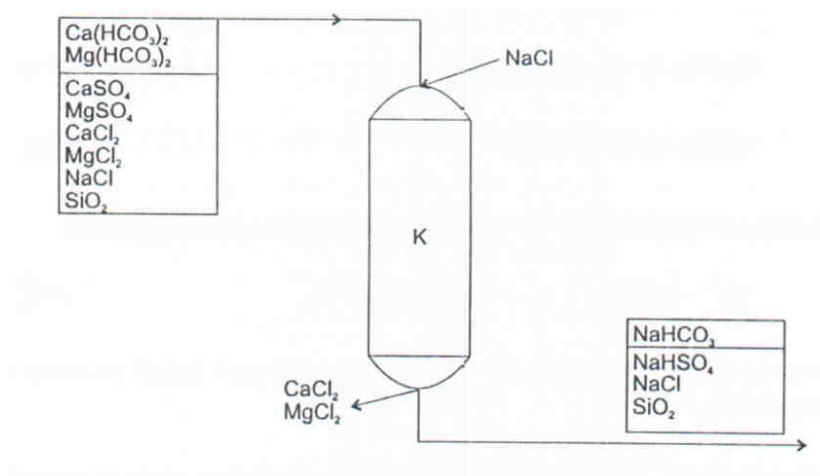
- za jako kisele smole 5-7% m/m HCl
- za neutralnu izmjenu..... 10% m/m NaCl
- za slabo kisele smole 1-4% m/m HCl
- za jako bazne smole 4-5% m/m NaOH
- za slabo bazne smole 2-4% m/m NaOH

Mogući postupci obrade vode mjenjačima jona

Veoma je veliki broj mogućih kombinacija filtara sa jonoizmjenjivačkim masama, što prije svega zavisi od buduće namjene prerađene vode. Ipak u praksi se najčešće koriste četiri sljedeća postupka obrade vode (Vukić, 2015):

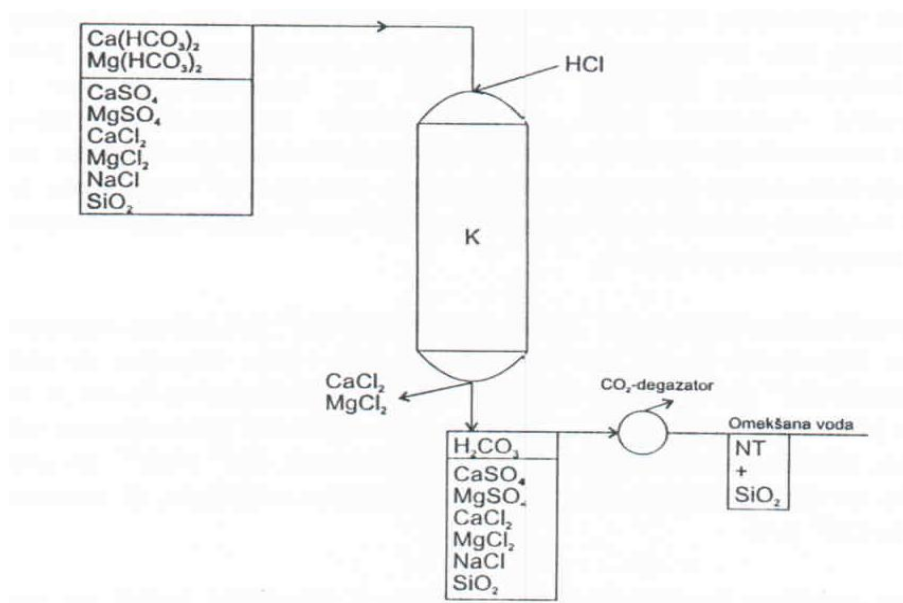
- direktno mekšanje vode,
- dekarbonizacija vode,
- mekšanje vode uz prethodnu dekarbonizaciju,
- demineralizacija vode.

U slučaju *direktnog mekšanja vode* primjenjuje se *neutralna izmjena* sa jako kiselim katjonskom masom u Na-obliku, kada se svi joni kalcijuma i magnezijuma iz vode zamjenjuju jonima natrijuma iz smole, koji prelaze u vodu gradeći rastvorne Na-soli (slika 3.10). Regeneracija se provodi vodenim rastvorom NaCl.



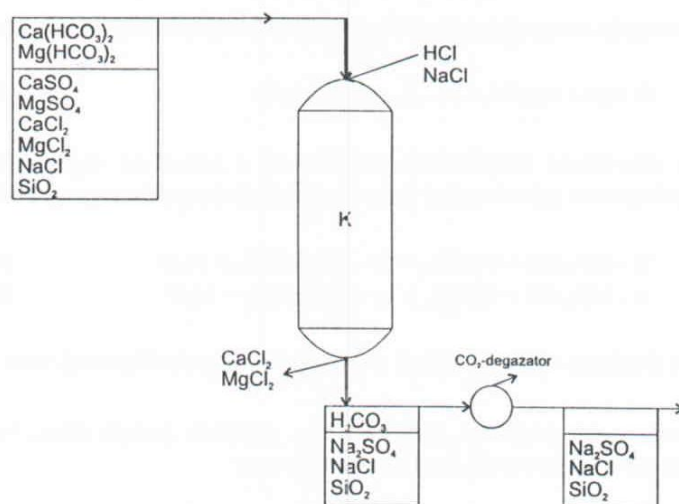
Slika 3.10. Direktno omešavanje vode katjonskim mjenjačem u natrijevom obliku (neutralna izmjena) (Popović, 2001)

Dekarbonizacija vode (uklanjanje KT) vrši se slabo kiselim katjonskim mjenjačem, koji zbog slabe disocijacije aktivne grupe (-COOH), uklanja samo bikarbonate kalcijuma i magnezijuma dok soli nekarbonatne tvrdoće (sulfati i hloridi) ostaju nepromijenjene (slika 3.11). Oslobođeni CO_2 se uklanja degazacijom. Regeneracija se provodi teorijskom količinom rastvora HCl ili H_2SO_4 .



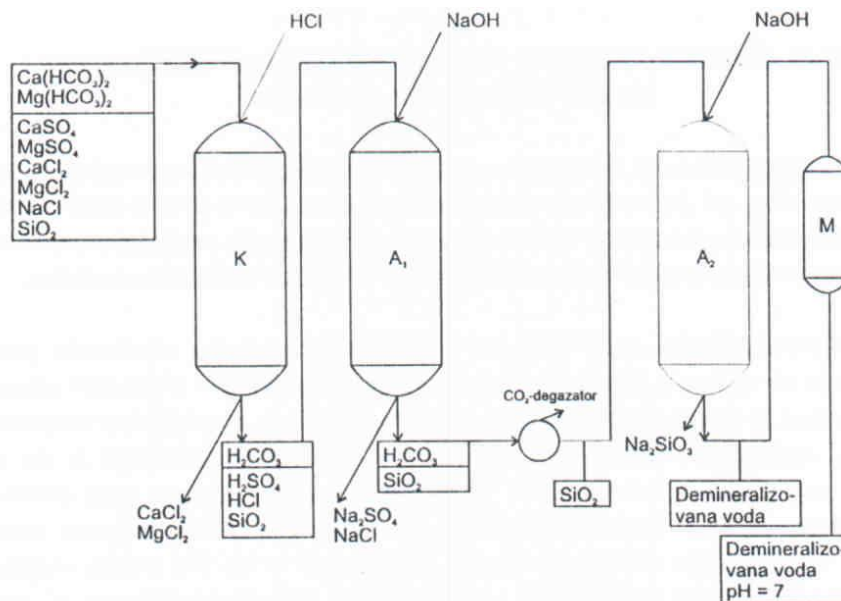
Slika 3.11. Dekarbonizacija vode slabo kiselim katjonskim mjenjačem u H obliku
(Popović, 2001)

Mekšanje vode se može provesti i tako da se prethodno izvrši dekarbonizacija krečom, a potom mekšanje završi jonskom izmjenom ili da se cjelokupno mekšanje izvrši jonskom izmjenom dvofazno. U tom slučaju se u jednom filtru mogu kombinovati dvije jonske mase, kako je prikazano na slici 3.12.



Slika 3.12. Mekšanje vode uz prethodnu dekarbonizaciju jonskom izmjenom -slabo kiseli N-mjenjač (-COOH) i jako kiseli Na-mjenjač ($\text{SO}_3\text{-Na}$) (Popović, 2001)

Demineralizacija vode (potpuno uklanjanje rastvorenih soli iz vode) je neophodna za napajanje parnih kotlova visokog pritiska, a može se postići samo kombinacijom katjonskih i anjonskih masa (slika 3.13).



Slika 3.13. Šema potpune demineralizacije vode jonskom izmjenom (Popović, 2001)

Prvi u sistemu se postavlja jako kiseli katjonski mjenjač u H obliku ($-\text{SO}_3\text{-H}$), koji veže sve katjone, prevodeći rastvorene soli u kiseline. Voda koja je prošla kroz katjonski mjenjač je potpuno mekana i kisela ($\text{pH} < 4$). Pri ovom pH sva ugljena kiselina je u obliku

slobodnog CO₂, koji se uklanja degazacijom, a mineralne kiseline se uklanjaju u slabo baznom anjonskom filtru (A₁). Kako se u ovoj šemi ne uklanja silicijumova kiselina, potrebno je potom primijeniti jako bazni anjonski mjenjač (A₂), koji služi za njeno uklanjanje, ali i za eliminaciju preostale ugljene kiseline. Na kraju postrojenja se postavlja miješani tzv. pufer filter, koji ima i katjonsku i anjonsku masu i služi kao sigurnosni filter. Završetkom postupka demineralizacije, voda bi trebala da sadrži veoma male količine rastvorenih soli (<0,5 mg/L) (Vukić, 2015).

Ovo je danas, ujedno najbrži i najčešći put **desilikatizacije vode**, čime se u kotlu sprječava izdvajanje veoma opasnog silikatnog kamenca. Maksimalna dozvoljena vrijednost silicijuma (računata na SiO₂) u napojnoj vodi ne smije da bude viša od 20 µg/L, odnosno 0,02 mg/L (Rajaković, 2003).

3.2.8. Membranski postupci

Današnji moderniji postupci uklanjanja suspendovanih i rastvorenih materija iz površinskih i podzemnih voda radi dobijanja napojne vode, podrazumijevaju i membranske postupke pripreme vode.

Membranski procesi su fizičko-hemijski procesi pri kojima dolazi do razdvajanja suspenzije i/ili rastvora kroz sintetičku polupropustljivu membranu, debljine nešto manje od 1 mm (Howe et al., 2012.).

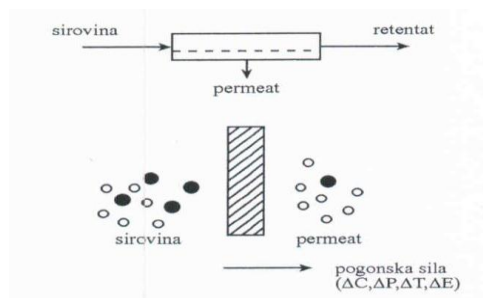
Prednosti membranskih postupaka separacije su trošenje male količine hemikalija i mogućnost obrade velike količine, u ovom slučaju sirove vode, uz dobijanje vode veoma visokog kvaliteta. Nedostatak membranskih postupaka separacije je, pored nepotpune separacije primjesa, i problem uklanjanja istaloženih koncentrata, koji prilikom prolaska vode ostaju u unutrašnjosti ili spoljašnjosti membrane (Đukić i sar., 2011).

Membrane predstavljaju selektivne polupropustljive medije, koji ipak nemaju potpunu efikasnost separacije. Pogonska sila koja omogućava prolaz materije kroz membranu može biti (Sokolović i Sokolović, 2001; Klačnja 1997; Benak 1997; Rajaković i Rajaković, 2003),

- razlika koncentracija (Δc),
- razlika pritiska (Δp),
- razlika elektropotencijala (ΔE) i

➤ razlika temperature (ΔT).

Mehanizmi separacije uz pomoć membrane najčešće mogu biti razlika u veličini čestica, molekula, jona ili razlika u rastvorljivosti i difuzivnosti sastojaka u vodi sa jedne i druge strane membrane (Sokolović i Sokolović, 2001). Permeat je struja koja prolazi kroz medijum, a retentat struja koja se izvodi sa spoljne strane membrane (slika 3.14).



Slika 3.14. Šematski prikaz membranske separacije (Sokolović i Sokolović, 2001).

Za uklanjanje rastvorljivih mineralnih sastojaka iz vode, od membranskih postupaka najviše se koriste *reverzna osmoza* i *elektrodijaliza*. Procesom reversne osmoze postiže se stepen uklanjanja i do 98%, odnosno svega 2% rastvorenih soli ostaje u vodi (Amjad, 2011). Reversnom osmozom se mogu ukloniti, pored ostalih primjesa u vodi i jonski oblici, pa tako i joni kalcijuma i magnezijuma, odnosno jedinjenja koja čine tvrdoću vode (Howe et al., 2012).

3.2.9. Degazacija napojne vode

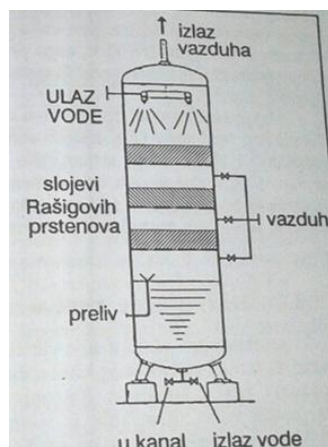
Postupci uklanjanja gasova, odnosno postupci degazacije, se odvijaju fizičkim (termičkim) i hemijskim putem.

3.2.9.1. Fizički postupci uklanjanja gasova

Fizički postupci uklanjanja gasova iz vode podrazumijevaju uklanjanje gasova termičkim putem, koji se odigravaju na visokim pritiscima (0,3-1,0 MPa) i višim temperaturama ($> 130^{\circ}\text{C}$), ili pod vakumom na temperaturama od $50\text{-}80^{\circ}\text{C}$ u uređaju degazatoru.

Princip rada degazatora (slika 3.15.) je sljedeći: Prethodno zagrijana napojna voda zagrijana do tačke ključanja, uvodi se u degazator sa gornje strane i raspršuje preko perforiranih tava (kaskada) te u kontaktu sa protustrujnim tokom vodene pare dolazi do prenosa mase, pri čemu para sa sobom odnosi gasove iz napojne vode.

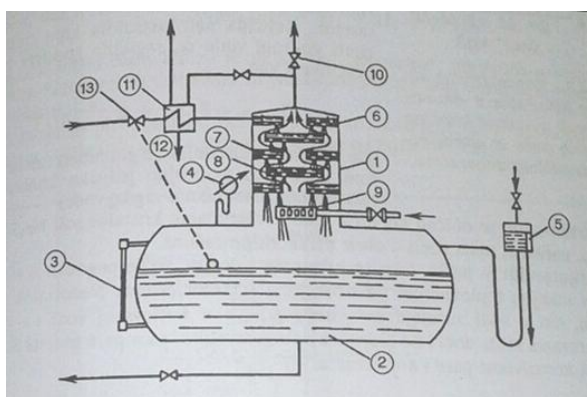
Vakuum degazatori se koriste kod kotlova sa niskim pritiskom. U degazator je stavljena vakuum pumpa, što snižava tačku ključanja napojne vode i doprinosi boljem efektu degazacije.



Slika 3.15. Šema jednog degazatora tipa skrubera (Gaćeša i Klašnja, 1994)

Termičko uklanjanje kiseonika iz vode se zasniva na činjenici da je na temperaturi ključanja, u slučaju da se u gasnoj fazi nalazi praktično samo vodena para, rastvorljivost kiseonika i drugih gasova jednaka nuli.

Ovaj postupak se naziva deaeracija vode. Deaerator je prikazan na slici 3.16.



Slika 3.16. Atmosferski termički deaerator vode : (1)- kolona za deaeraciju, (2)-rezervoar deaerisane vode, (3)-vodokazno staklo, (4)-manometar, (5)- sigurnosni hidraulični zatvarač, (6)- razdjelnik vode, (7,8)-prelivni podovi, (9)-razdjelnik pare, (10)-ispust u atmosferu, (11)- kondenzator otpadne pare, (12)-ispust kondenzata, (13)-regulator protoka vode (Vukić, 2015; preuzeto od Radovanović, 1994))

Kroz termički deaerator se, nasuprot vodi koja je zagrijana, uvodi manja količina pare, u koju prelaze izdvojeni gasovi, smješa pare i gasova koji ne mogu da se kondenzuju. Ta smješa izlazi iz deaeratora u atmosferu ili se kondenzuje ulaznom vodom koja se dodatno zagrijava.

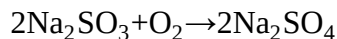
3.2.9.2. Hemijski postupci uklanjanja gasova

Iako je kiseonik pogodan u vodi za piće, izuzetno je nepoželjan u industrijskim vodama, te maksimalno dozvoljena koncentracija kiseonika za napojnu iznosi 0,02 mg/L, odnosno 20 µg/L (Popović, 2001).

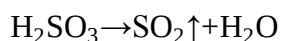
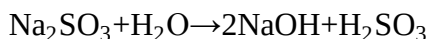
- Za **hemijsko uklanjanje kiseonika** iz vode, koriste se sljedeća redukciona sredstva: natrijum-sulfit, Na_2SO_3 ,
- hidrazin, N_2H_4 .

Natrijum-sulfit se priprema i koristi kao 3-6%-ni rastvor, od komercijalno dostupne soli $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Primjena se zasniva na reakciji:



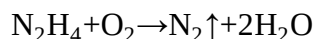
Ova reakcija teče veoma brzo na temperaturama oko i iznad 80°C. Iako je jeftina i dostupna supstanca, natrijum-sulfit ima svoje nedostatke: u kotlovskoj vodi na visokim temperaturama može doći do hidrolize natrijum-sulfita, pa nastali SO_2 prelazi u paru, koji povećava koroziju i pare i kondenzata.



Zato se umjesto natrijum-sulfita koristi hidrazin koji efikasno uklanja kiseonik, samo što ima određenu toksičnost po ljude. Hidrazin, N_2H_4 , je bistra tečnost, amonijakalnog mirisa, zapaljiv na vazduhu i štetan za ljudsku kožu.

Koristi se u obliku levoksina (aktivirani hidrazin-hidrat kompanije „Bayer“), koji sadrži 15-60% hidrazina sa određenim organskim aktivatorima, koji ubrzavaju vezivanje kiseonika i inhibiraju koroziju (Rajaković, 2007; Gaćeša i Klašnja, 1994).

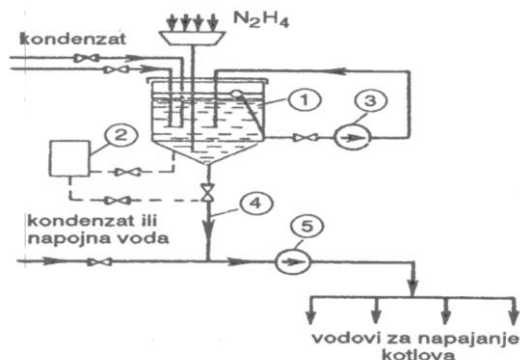
Reaguje sa kiseonikom po reakciji:



Takođe, hidrazin redukuje i ostale okside metala koji se mogu naći u vodi:



Prije upotrebe, hidrazin se mora razblažiti do koncentracije od 1-2,5% i nakon toga se ubacuje u kondenzat, slika 3.17.



Slika 3.17. Šematski prikaz uklanjanja O_2 sa hidrazinom

(1)-sud za pripremu rastvora hidrazina, (2)-rezervni sud, (3)-pumpa za miješanje rastvora, (4)-vod za dovod rastvora hidrazina, (5)-dozirna pumpa (ejektor) (Vukić, 2015)

Hidrazin redukuje koroziju, tako što:

- hemijski reaguje sa kiseonikom i stvara azot i vodu,
- na visokim temperaturama i pritiscima prelazi u amonijak, čime se povećava pH vode,
- reaguje sa hematitskim slojevima na kotlovskim cijevima i prevodi ih u stabilne magnetitne naslage.

Takođe, neka postrojenja za industrijsku vodu koriste i karbohidrazid, $(N_2H_3)_2CO$ kao zamjenu za hidrazin, a neke od prednosti korištenja karbohidrazida u odnosu na hidrazin su sljedeće (Đukić i sar., 2011):

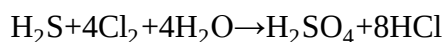
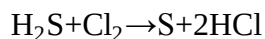
- poboljšavanje reaktivnosti sa kiseonikom na nižim temperaturama,
- smanjenje korozije u vidu efikasne pasivizacije metalnih površina cjevovoda i kotlovskog sistema,
- netoksičnost u fazi pripreme za korištenje.

Za **hemijsko uklanjanje ugljen-dioksida**, koristi se amonijak. Amonijak se dodaje u vodu nakon termičke degazacije. Rastvoreni CO_2 reaguje sa amonijakom po sljedećoj reakciji:



Nastali amonijum-karbonat, $(NH_4)_2CO_3$ obezbjeđuje potreban alkalitet, koji doprinosi smanjenju kiseonika na preporučenih 0,02 mg/L, a i ujedno odnosi sa sobom i CO_2 (Popović 2001; Rajaković, 2007).

Što se tiče **uklanjanja vodonik-sulfida**, H_2S , može se koristiti hlor za njegovo uklanjanje hemijskim putem. Reakcije su sljedeće:



Reakcijom uklanjanja dobijaju se sumpor, odnosno sulfatna kiselina. Treba istaći da ove reakcije teku preko tiosulfata i sulfita kao međuproizvoda (*Gaćeša i Klašnja, 1994*).

Vodonik sulfid i njegove specije se mogu uklanjati metodama degazacije, koje strogo zavise od pH sistema (*Wang et al., 2006*). Ove tehnike uklanjanja su povezane sa uklanjanjem CO_2 iz vode, što znači tako dolazi do uklanjanja i H_2S , ali u manjoj mjeri jer se uklanjanjem CO_2 , povećava pH vode, što negativno djeluje na proces uklanjanja H_2S (*Wang et al., 2006*).

4. EKSPERIMENTALNI DIO

4.1. Vrste uzoraka sirove vode, mjesto, način i vrijeme uzorkovanja

Za potrebe eksperimentalnog dijela ovog rada korišteni su uzorci podzemnih i površinskih voda sa sljedećih lokacija:

- dva uzorka podzemne vode (vode iz sela Brezik Laminci i sela Ćela) i
- dva uzorka površinske vode (vode rijeke Vrbasa i Save).

Uzorkovanje površinskih voda, odnosno vode rijeke Vrbasa (lokalitet most Venecija Banja Luka) i Save (lokalitet gradski kej Gradiška) uzeti su sa središnjeg toka rijeka (pomoću plastične kante i užeta) u plastične kanistere zapremine 5 L.

Uzorkovanje podzemnih voda izvedeno je pomoću dvije vrste pumpi: ručna pumpa (voda iz sela Brezik Laminci) i električna pumpa (voda iz sela Ćela kod Prijedora). Uzorci su takođe uzeti u kanistere od 5 L.

Uzorkovanje podzemne vode iz sela Brezik Laminci pomoću ručne pumpe je rađeno na način da se voda direktno pomoću ručne pumpe ulijeva u plastični kanister zapremine 5 L.

Uzorkovanje površinske vode iz sela Ćela je vršeno pomoću crijeva koje se uroni do dna plastičnog kanistera od 5 L, crijevo je povezano direktno sa električnom pumpom.

Na mjestu uzorkovanja mjerena je temperatura vode alkoholnim termometrom i fiksiran rastvoreni kiseonik, metodom po Winkler-u.

Ispitivanja kvaliteta sirove vode uzorkovane na navedenim mjestima, provedena su u periodu **septembar-oktobar 2017. godine**, u Laboratoriji za neorgansku hemijsku tehnologiju na Tehnološkom fakultetu Univerziteta u Banjoj Luci

Ispitivanje uzoraka podzemnih i površinskih voda izvedeno je u 5 serija, kako bi se dobili što vjerodostojniji podaci o kvalitetu ispitivanih voda, na osnovu kojih se treba predložiti tehnološka šema pripreme voda za energetska postrojenja u industriji.

4.2. Metode ispitivanja

Za ispitivanje parametara kvaliteta vode, a koji su značajni sa stanovišta pripreme vode za energetska namjene, korištene su sljedeće standardne metode (APHA-AWWA-WPCF, 1998), navedene u tabeli 4.1.:

Tabela 4.1. Metode ispitivanja parametara kvaliteta vode

Parametar	Mjerna jedinica	Metoda analize
Temperatura	°C	Alkoholni termometar
pH vrijednost	–	Elektrohemijska
Specifična provodljivost	μS/cm	Konduktometrija
Mutnoća	NTU	Nefelometrijska
Isparni ostatak	mg/L	Gravimetrijska
Suspendovane materije	mg/L	Gravimetrijska
Rastvoreni O ₂	mg/L	Volumetrijska po Winkler-u
Utrošak KMnO ₄	mg KMnO ₄ /L	Volumetrijska (permanganometrija)
PA	mg CaCO ₃ /L	Volumetrijska (acidimetrijska)
MA	mg CaCO ₃ /L	Volumetrijska (acidimetrijska)
KT	mg CaCO ₃ /L	Volumetrijska (acidimetrijska)
UT	mg CaCO ₃ /L	Volumetrijska (kompleksometrija)
Ca ²⁺	mg/L	Volumetrijska (kompleksometrija)
Mg ²⁺	mg/L	Volumetrijska (kompleksometrija)
Fe	mg/L	Spektrofotometrijski (sa fenantrolinom)
Mn	mg/L	Spektrofotometrijski (pomoću permanganata)
SiO ₂	mg/L	Spektrofotometrijski (sa amonijum-molibdatom)
Cl ⁻	mg/L	Volumetrijska (Mohr-ova metoda)
SO ₄ ²⁻	mg/L	Gravimetrijska

4.3. Oprema i hemikalije

Za analizu uzoraka naprijed navedenih vrsta sirove vode, korišteni su sljedeći instrumenti i hemikalije:

- Alkoholni termometar,
- Multi Line set za mjerenje pH vrijednosti i elektroprovodljivosti,
- Uređaj za mjerenje mutnoće Hanna Instruments LP 2000,
- Spektrofotometar tip Spectronic 1201, proizvođača Milton Roy,
- Standardni rastvor hloridne kiseline ($c=0,1$ mol/L)
- Rastvor K_{III} ($\gamma=6,65$ g/L),
- Pufer-amonijačna smjesa, NH_4OH+NH_4Cl
- 30% rastvor NaOH,
- Standardni rastvor kalijum-permanganata, $KMnO_4$ ($c=0,002$ mol/L),
- Standardni rastvor oksalne kiseline, $H_2C_2O_4$ ($c=0,005$ mol/L),
- Rastvor sulfatne kiseline H_2SO_4 1:3,
- Rastvor mangan (II)-hlorida, $MnCl_2$
- Alkalni rastvor kalijum-jodida, $NaOH+KI$
- Koncentrovana hloridna kiselina,
- Standardni rastvor natrijum-tiosulfata, $Na_2S_2O_3$ ($c= 0,01$ mol/L),
- 10% rastvor barijum-hlorida, $BaCl_2$,

- Standardni rastvor srebro-nitrata, AgNO_3 ($c=0,1 \text{ mol/L}$)
- Standardni rastvor amonijum-ferosulfata, $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$,
- 1,10 fenantrolin,
- Amonijum-acetatni pufer, $\text{CH}_3\text{COONH}_4$,
- Rastvor hidroksilamin-hlorida, $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$
- Indikatori (metil-oranž, fenolftalein, mureksid, eriohrom-crno T, 5% kalijum-hromat, K_2CrO_4)
- Zaštitni rastvor za mangan (živa(II)-sulfat, p.a. HgSO_4 , konc.nitratna kiselina, HNO_3 , 85% rastvor fosfatne kiseline, H_3PO_4 , srebro-nitrat, p.a. AgNO_3),
- Amonijum-persulfat, p.a. $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$
- Rastvor nitratne kiseline 1:1,
- Rastvor hloridne kiseline 1:1,
- Rastvor oksalne kiseline,
- Rastvor tehničke hloridne kiseline ($w=21\%$),
- Standardni rastvor natrijum-silikata, Na_2SiO_3 ,
- Rastvor amonijum-molibdata, $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$,
- Rastvor 1-amino-2-naftol-4-sulfonske kiseline.

5. REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati analiza uzoraka podzemnih i površinskih voda predstavljani su u dva poglavlja:

1. Analiza fizičko-hemijskog sastava uzoraka sirove vode,
2. Prijedlog tehnoloških šema pripreme vode za energetska postrojenja.

5.1. Fizičko-hemijski sastav uzoraka sirove vode

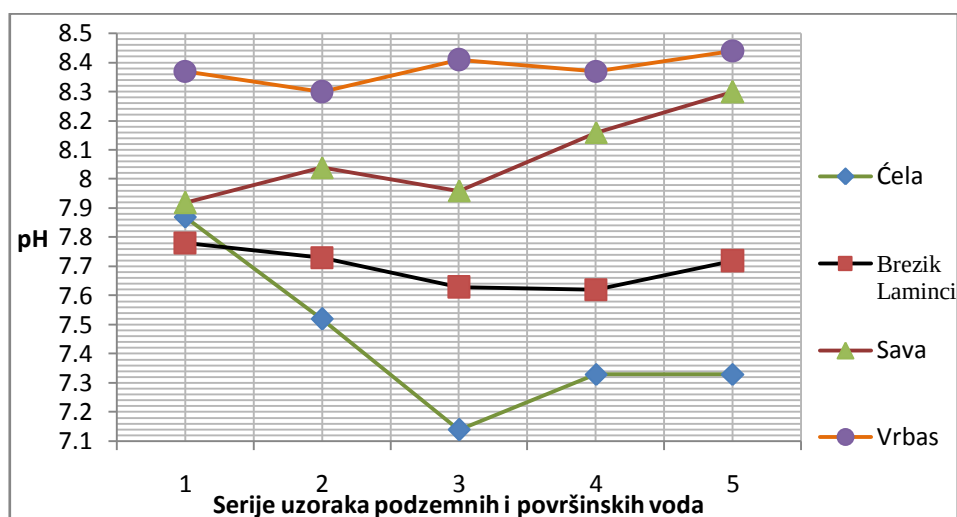
Ispitivanja su provedena u pet serija uzorkovanja sirove vode na četiri lokacije (dvije površinske i dvije podzemne vode). Tabela 5.1., daje prikaz srednjih vrijednosti relevantnih parametara kvaliteta vode na osnovu kojih treba predložiti tehnološku šemu pripreme napojne vode za proizvodnju pare, odnosno potvrditi radne hipoteze.

Tabela 5.1. Rezultati analiza ispitivanih uzoraka podzemnih i površinskih voda

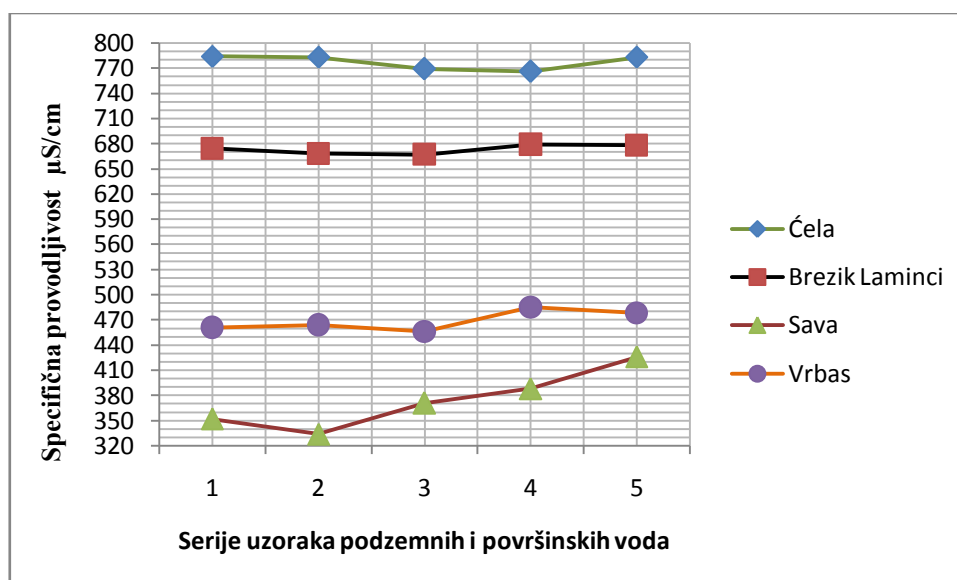
PARAMETAR	Podzemna voda		Površinska voda	
	Ćela Prijedor	Brezik Laminci	Rijeka Sava	Rijeka Vrbas
Temperatura (°C)	14±0	11,80±2,49	11,60±2,70	14,40±0,89
pH –vrijednost (20°C)	7,44±0,28	7,70±0,07	8,08±0,16	8,38±0,05
Specifična provodljivost (20°C) (μS/cm)	777±8,75	673,2±5,54	374,2±35,33	468,8±12,19
Mutnoća (NTU)	165,60±40,12	0,43±0,75	7,83±11,37	0,41±0,50
Isparni ostatak (180°C) (mg/L)	502,10±28,50	419,70±15,58	251,40±17,27	307,50±18,22
Suspendovane materije (mg/L)	27,20±23,12	15±29,78	0,00±0,00	0,00±0,00
PA (mgCaCO ₃ /L)	0,00±0,00	0,00±0,00	1,09±2,45	12,58±3,67
MA (mgCaCO ₃ /L)	303,01±5,28	294,69±2,72	186,03±10,05	200,80±3,12
UT (mgCaCO ₃ /L)	378,31±4,82	365,27±1,63	210,21±3,49	256,51±3,45
KT (mgCaCO ₃ /L)	303,06±5,28	252,28±56,75	184,97±9,20	188,25±6,24
NT (mgCaCO ₃ /L)	75,25±5,29	70,53±2,26	25,24±10,62	66,07±9,17
Ca²⁺ (mg/L)	315,50±6,29	300,55±2,19	152,63±19,49	193,78±4,19
Mg²⁺ (mg/L)	62,62±5,57	64,73±3,20	57,58±21,06	62,72±4,48
Fe (mg/L)	4,86±0,77	0,09±0,03	0,13±0,06	0,02±0,01
Mn (mg/L)	0,53±0,10	0,08±0,05	0,18±0,10	0,1±0,04
SiO₂ (mg/L)	14,97±0,96	13,14±0,79	5,62±0,38	4,44±0,22

Cl ⁻ (mg/L)	59,00±1,54	14,89±1,29	6,26±0,52	6,67±0,52
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	40,99±3,28	17,65±4,21	16,81±2,23	47,49±3,34
Rastvoreni O ₂ (mg/L)	3,43±1,70	6,98±0,09	8,14±0,09	8,86±0,41
Utrošak KMnO ₄ (mgKMnO ₄ /L)	7,82±1,00	4,78±0,73	16,40±1,07	9,55±0,87

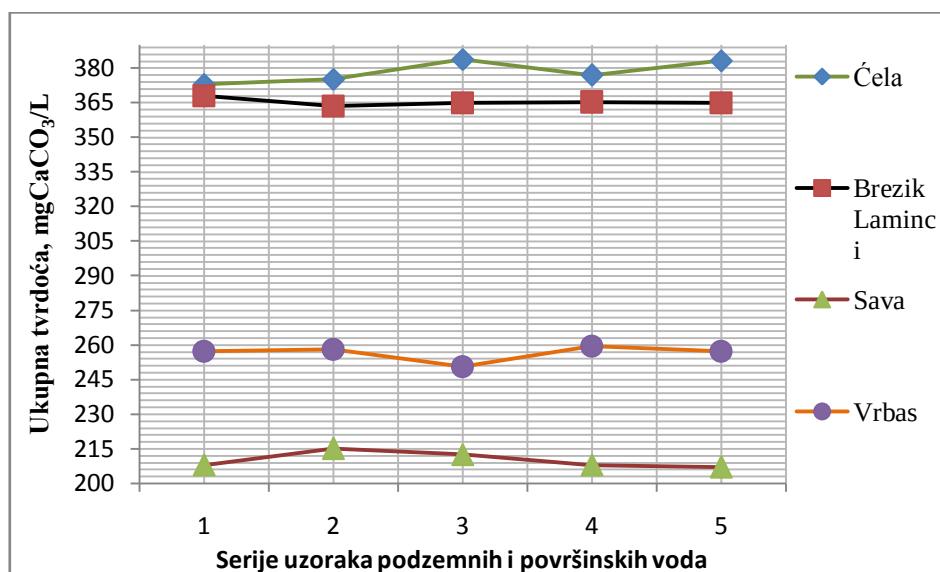
Na slikama 5.1-5.9, grafički je predstavljen odnos najbitnijih parametara za sva četiri uzorka vode tokom pet serija uzorkovanja. Prikazani su parametri kvaliteta: pH-vrijednost, specif. provodljivost, UT, KT, sulfati, m-alkalitet, gvožđe, mangan i silikati.



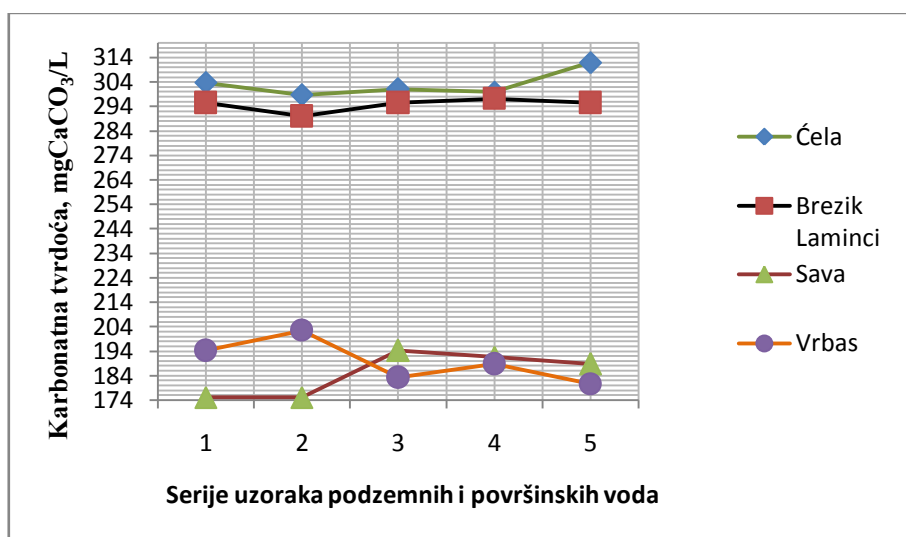
Slika 5.1. Grafički prikaz pH vrijednosti analiziranih podzemnih i površinskih voda



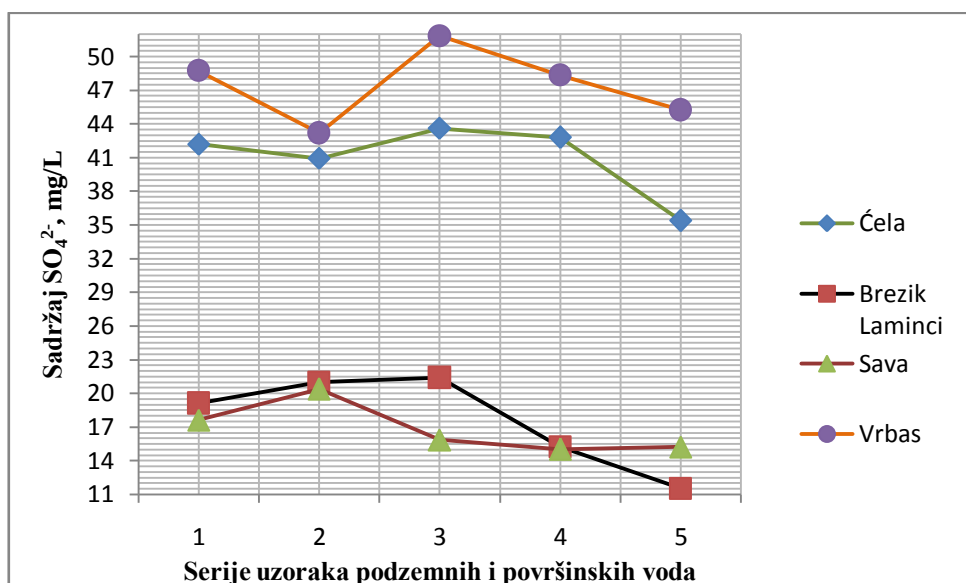
Slika 5.2. Grafički prikaz specifične provodljivosti analiziranih podzemnih i površinskih voda



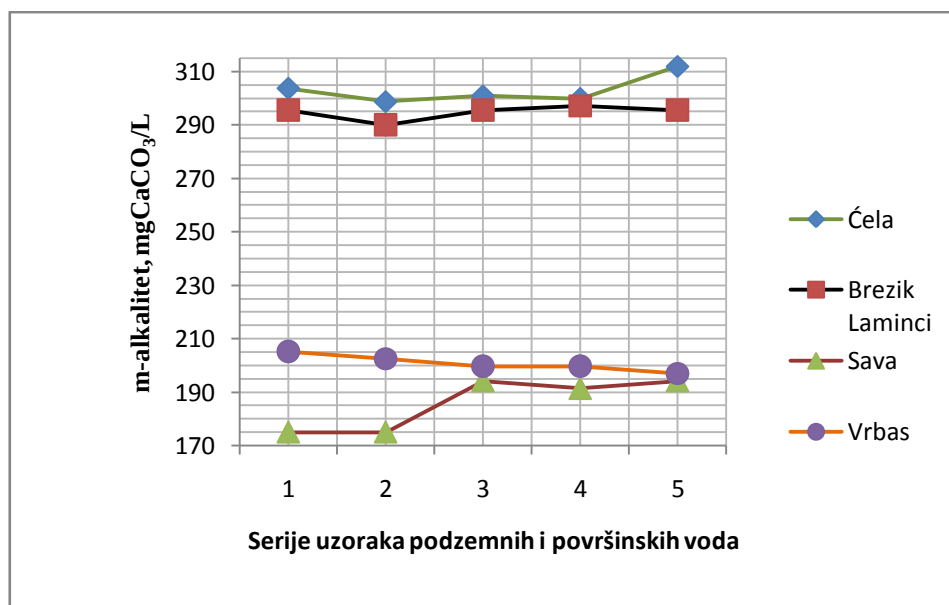
Slika 5.3. Grafički prikaz sadržaja ukupne tvrdoće u analiziranim uzorcima podzemnih i površinskih voda



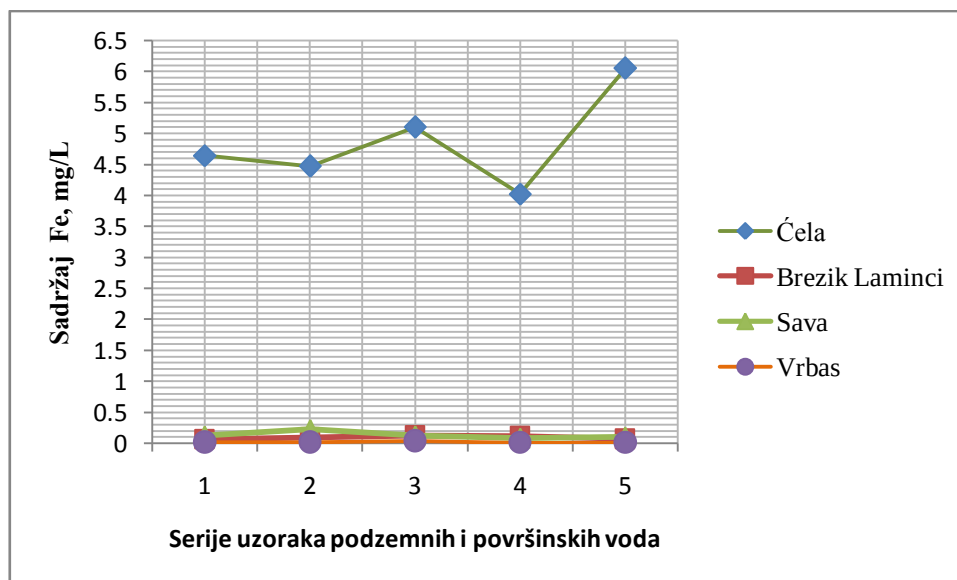
Slika 5.4. Grafički prikaz sadržaja karbonatne tvrdoće u analiziranim uzorcima podzemnih i površinskih voda



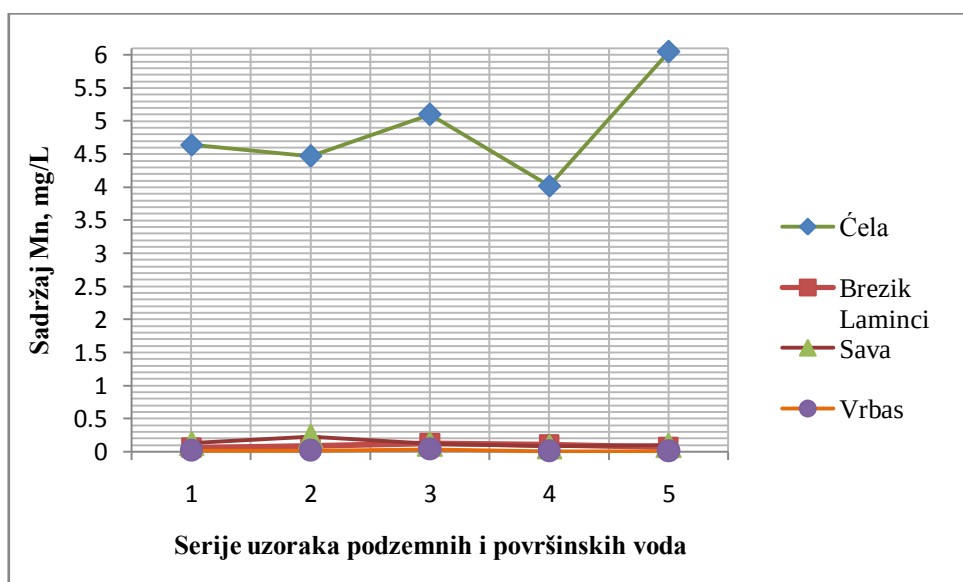
Slika 5.5. Grafički prikaz koncentracije sulfata u analiziranim uzorcima podzemnih i površinskih voda



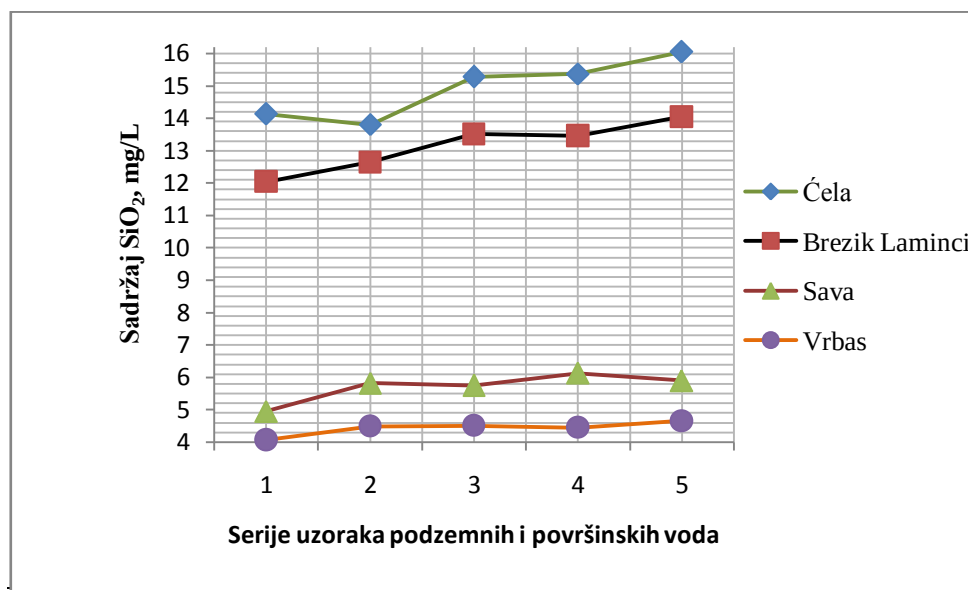
Slika 5.6. Grafički prikaz vrijednosti m-alkaliteta za analizirane uzorke podzemnih i površinskih voda



Slika 5.7. Grafički prikaz koncentracije soli gvožđa u analiziranim uzorcima podzemnih i površinskih voda



Slika 5.8. Grafički prikaz koncentracije soli mangana u analiziranim uzorcima podzemnih i površinskih voda



Slika 5.9. Grafički prikaz koncentracije silikata u analiziranim uzorcima podzemnih i površinskih voda

Poznato je da se fizičko-hemijski sastav podzemnih i površinskih voda uglavnom razlikuje, a što je, posmatrano kroz određene relevantne parametre, navedene u tabeli 5.1., i potvrđeno. Podzemne vode formiraju svoj sastav filtracijom vode kroz slojeve minerala i uglavnom imaju konstantan kvalitet, za razliku od površinskih voda na koje utiču i vanjski, uglavnom antropogeni faktori (uljev otpadnih voda), ali i klimatski uslovi u vrijeme uzorkovanja vode. Podzemne vode karakteriše ujednačeniji mineralni sastav sa višom koncentracijom rastvorenih soli, manje varijacije u temperaturi i manji sadržaj patogenih mikroorganizama (Popović, 2001; Radovanović 1996). Ako se posmatra svaki analizirani parametar odvojeno, predstavljen u tabeli 5.1., može se konstatovati sljedeće:

- **Temperatura vode** je tokom ispitivanja, i u podzemnim i u površinskim vodama imala veoma slične vrijednosti, koje su možda više karakteristične za podzemne vode. Temperatura vode Save i Vrbasa vjerovatno variraju u drugim dijelovima godine, ali s obzirom da se radi o relativno kratkom periodu ispitivanja (septembar-oktobar) varijacije u odnosu na klimatske uslove nisu mogle biti izražene i ovakve vrijednosti su očekivane;
- **pH-vrijednost** svih analiziranih voda su u skladu sa literaturnim vrijednostima, odnosno vrijednosti za podzemne vode su nešto niže u odnosu na površinske. Naime, pH prirodnih voda se kreće od slabo kiselih do neutralnih kod podzemnih,

odnosno neutralnih do slabo alkalnih kod površinskih voda, kako je i prikazano na slici 5.1 u ovom radu (Radovanović, 1996). Određeno odstupanje pH-vrijednosti na izvoristu Ćela (lokalitet Prijedor) je vjerovatno zbog toga što se radi o podzemnoj vodi plitke izdani sa većim uticajem vanjskih faktora (slika 5.1). Kod površinskih voda postoje određena, ali ne značajna odstupanja, vjerovatno zbog kraćeg perioda uzorkovanja, kada ta odstupanja u skladu sa godišnjim dobom (intenzivne padavine) postaju izraženija. Generalno sve navedene vrijednosti su relativno niske i nisu preporučljive za napojnu vodu, jer vode u tom intervalu dovode do pojave korozije u termoenergetskom postrojenju, što znači da je u toku obrade sirove vode, potrebno dodati određenu koncentraciju alkalnih jedinjenja radi podizanja pH u prihvatljivi interval od pH=8,8-9,2.

- **Specifična provodljivost** nam daje indirektni podatak o sadržaju mineralnih materija u vodi, odnosno definiše se kao sposobnost vode da provodi struju. Utvrđene su veće vrijednosti i manje varijacije tih vrijednosti kod podzemnih, u odnosu na površinske vode, što je u potpunosti u skladu sa literaturnim podacima (tabela 5.1; slika 5.2). Literatura navodi da se u podzemnoj vodi elektroprovodljivost kreće u granicama 673-886 $\mu\text{S/cm}$, dok je interval za površinske vode 215-430 $\mu\text{S/cm}$ (Đukić i sar., 2011).

Ovaj parametar igra jednu od ključnih uloga u procesima pripreme vode za industriju, jer se voda kvaliteta demineralizovane vode koristi za pripremu napojne vode za parne kotlove visokog pritiska (Popović, 2001; Angelovski i Čađenović-Milovanović, 2012);

- **Mutnoća (turbiditet)** predstavlja sadržaj suspendovanih i koloidnih čestica, poput gline, mulja, fino dispergovanih organskih i neorganskih materija, emulgovanih materija, planktona i drugih mikroorganizama (Vukić, 2015). U analiziranim uzorcima sirove vode primijećen je povećan sadržaj koloidnih primjesa u podzemnoj vodi na lokaciji Ćela-Prijedor, što se može pripisati i povišenom sadržaju gvožđa u vodi odnosno formiranju Fe(III)hidroksida nakon kontakta Fe(II) sa kiseonikom iz vazduha. Inače, mutnoća u podzemnim vodama najčešće potiče od prisustva huminskih i fulvo kiselina, a u površinskim od spiranja alumosilikata sa okolnog prostora, posebno nakon velikih padavina. Voda sa povećanom mutnoćom u industriji može da dovede do problema u radu kotlova za proizvodnju pare, pa je iz tih razloga potrebno ukloniti takve materije procesima koagulacije i flokulacije uz naknadno taloženje i filtraciju (Amjad, 2011).

- **Isparni ostatak (ukupna suva materija)** predstavlja sadržaj svih prisutnih primjesa u vodi, bilo da su u suspendovanom, koloidnom ili rastvorenom obliku. Rezultati ukazuju na viši sadržaj primjesa u podzemnim vodama i vrijednosti koreliraju sa vrijednostima većine drugih parametara.
- **Ukupna tvrdoća (UT)**, kao jedan od osnovnih pokazatelja mineralnog sadržaja prirodnih voda, predstavlja koncentraciju svih soli kalcijuma i magnezijuma rastvorenih u vodi. Iz slike 5.3, vidljivo je da je u korelaciji sa parametrom specifična provodljivost, odnosno da podzemne vode karakteriše uglavnom viša tvrdoća vode (a time i mineralni sadržaj) u odnosu na površinske. U konkretnom slučaju, obje podzemne vode vjerovatno najviše formiraju svoj mineralni sastav prolazeći kroz slojeve minerala krečnjačkog tipa otapajući ih, što za rezultat ima visoku UT. Zapažene su relativno male varijacije u vrijednostima UT za sva četiri uzorka vode što je bilo i za očekivati i u skladu je sa literaturnim podacima (*Radovanović, 1994; Popović, 2001*).
- **Karbonatna tvrdoća (KT)** uglavnom po vrijednostima prati ukupnu tvrdoću i predstavlja dominantnu vrstu tvrdoće vode u svim uzorcima (slika 5.4.). Takođe, iz tabele 5.1. je vidljivo da se uglavnom radi o solima kalcijuma (CaKT), a manje o solima magnezijuma (MgKT). Dobijene vrijednosti ukazuju da se vode Save i Vrbasa mogu svrstati u tvrde vode, a vode izvorišta Ćela (lokalitet Prijedor) i Brezik-Laminci (lokalitet Gradiška) su veoma tvrde vode (*Popović, 2001*)- Tvrdoća vode predstavlja glavni uzrok formiranja kotlovskog kamenca, te je iz tog razloga treba ukloniti iz sirove vode, koja će se koristiti za napajanje kotlova. Ove šeme pripreme vode zahtijevaju kombinaciju postupaka za uklanjanje rastvorenih soli u sistemu voda para.
- **Nekarbonatna tvrdoća (NT)** je prisutna u nižim koncentracijama i vjerovatno se radi o sulfatima i hloridima kalcijuma i magnezijuma, s obzirom na prisutnost ovih anjona u vodi. Sulfatni kamenac takođe može biti problematičan kada se nađe na stjenkama kotla pa se i ova tvrdoća mora ukloniti iz sistema voda-para;
- S obzirom da se prema metodi određivanja i jedinicama u kojim se iskazuju (mgCaCO_3/L) podudaraju, **m-alkalitet** gotovo u potpunosti korelira sa vrijednostima karbonatne tvrdoće, što se vidi na slici 5.6. Alkalitet potiče od u vodi rastvorenih bikarbonata i karbonata alkalnih i zemnoalkalnih metala i predstavlja sposobnost vode da neutrališe jaku kiselinu. Iz odnosa p- i m- alkaliteta ($2p < m$)

jasno je da u sitemu figuriraju bikarbonati i karbonati. Alkalitet je od velikog značaja u slučajevima kada u omekšanoj vodi zaostanu količine taložnih sredstava (Na_2CO_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$) ili kada voda nije dovoljno omekšana taložnim sredstvima, pa se odnosom **p- i m-alkaliteta** kontroliše prisustvo ovih jedinjenja (*Korać, 1975*).

- Sadržaj **sulfata** različito odstupa u podzemnoj i površinskoj vodi, što može imati više uzroka. U podzemnoj mogu poticati od rastvaranja minerala poput Glauberove soli, gipsa i sl., a u površinskoj mogu biti posljedica ispuštanja industrijskih otpadnih voda. U svakom slučaju, vrijednosti navedene u tabeli 5.1, prelaze dozvoljene vrijednosti za napojnu vodu i moraju proći obradu jonskom izmjenom. Postoji opasnost nastajanja sulfatnog kamenca, koji je tvrd, kompaktan i teško se odvaja od metalne površine. U kamencu dominira CaSO_4 (anhidrid), a rjeđe $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (gips, sedra) (*Popović, 2001*)
- **Gvožđe i mangan** su uglavnom prisutni u podzemnim vodama, u kojima su njihove koncentracije daleko više u odnosu na površinske vode. Gvožđe se u prirodnim vodama nalazi u četiri oblika i to: Fe(II), Fe(III), organski vezano i u obliku gvoždevitih bakterija (*Kukučka, 2013*). Sadržaj jedinjenja gvožđa, primjetno je povišen u uzorcima podzemne vode sa izvorišta Ćela, u odnosu na uzorke ostalih analiziranih voda. To znači da se ova voda mora dovesti u sistem za deferizaciju iz razloga što je dozvoljena koncentracija gvožđa u napojnoj vodi svega 0,20 mg/L. Gvožđe obično prati i povišen sadržaj mangana što je i ovdje slučaj (dozvoljena koncentracija za napojnu vodu je 0,05 mg/L). Znači bunarska voda sa lokacije Ćela-Prijedor mora proći proces deferizacije i demanganizacije uz naknadnu obradu jonskom izmjenom radi uklanjanja rezidua ovih metala.
- Prisustvo rastvorenih silikata u vodi posljedica su dugotrajnog djelovanja vode na silikate i alumosilikate (granit, kvarc...) u prisustvu organskih kiselina. **Silicijum** se u prirodnim vodama nalazi u obliku različitih hemijskih jedinjenja, najčešće u obliku H_2SiO_3 i $\text{mSiO}_2 \cdot \text{nH}_2\text{O}$, koji se može javiti u jonskom, molekulskom, koloidnom i polimernom obliku (*Ignjatović i sar., 2015*). U analiziranim uzorcima detektovan je povišen sadržaj silicijuma upravo u podzemnoj vodi i mora se izvršiti desilikatizacija ovih voda jonskom izmjenom, kako se na stjenkama kotla ne bi izdvajao, inače vrlo problematičan silikatni kamenac.

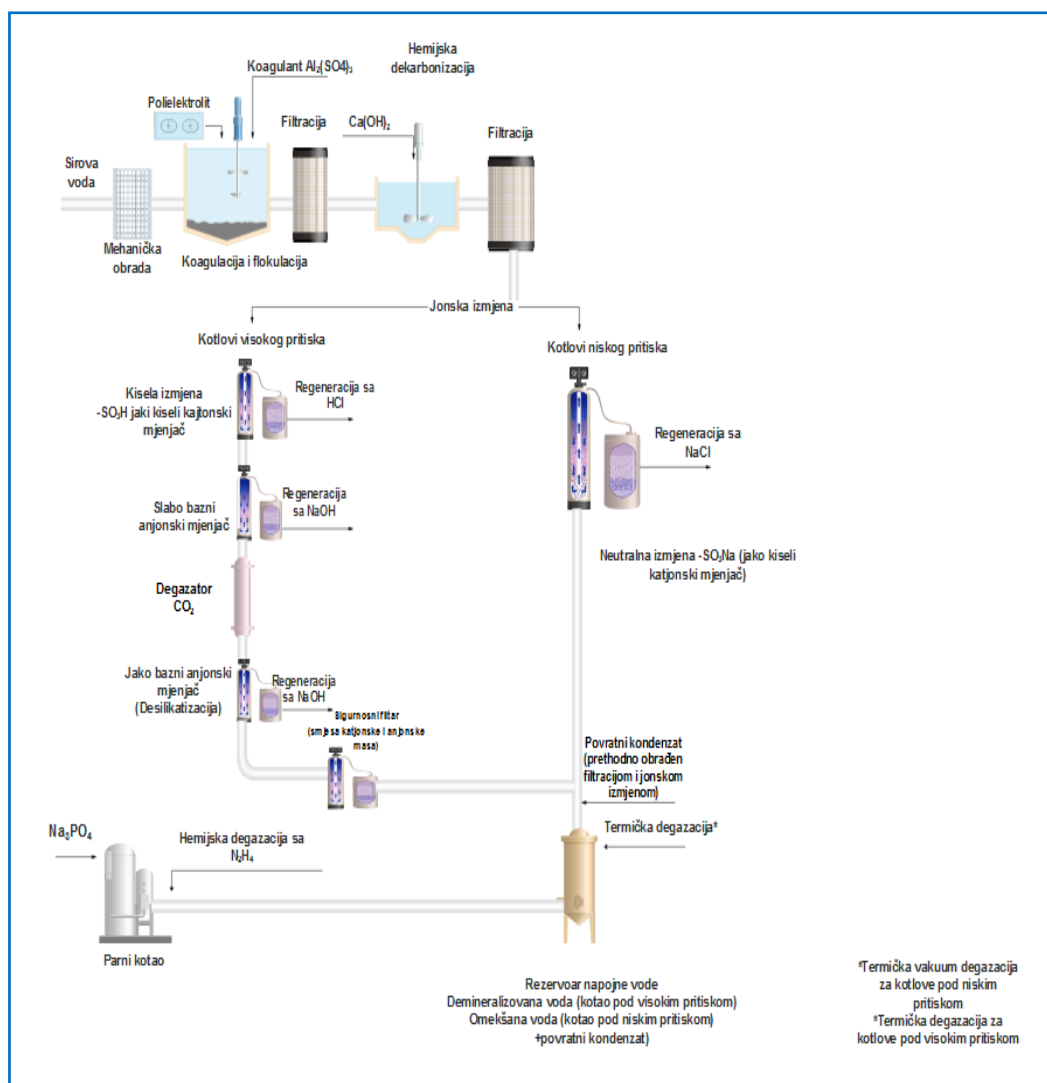
- Sadržaj **hlorida** ne utiče na formiranje kamenca, ali utiče na pojavu korozije. I ovdje je primjećena veća koncentracija hlorida u podzemnim u odnosu na površinske vode. Potrebno ih je ukloniti jonskom izmjenom.
- **Rastvoreni kiseonik** kao važan uzročnik korozije uvijek je više prisutan u površinskim nego u podzemnim vodama. U slučaju analiziranih uzoraka sirove vode na sve četiri lokacije koncentracija O₂ prelazi dozvoljene granice i potrebno ga je ukloniti u postupku degazacije koja može biti termička i hemijska. Najčešće se koriste obje.
- **Organske materije** iskazane kroz **utrošak KMnO₄**, pokazuju više vrijednosti u površinskim vodama, što može poticati kako od prirodnog, tako i antropogenog zagađenja. Ako podzemna i površinska voda u sebi nosi visok nivo organskog opterećenja kao što su huminske i fulvo kiseline, potrebno je uključiti i filtraciju preko aktivnog uglja (Gržetić, 2010).

5.2. Prijedlog tehnoloških šema pripreme vode za energetska postrojenja

5.2.1. Tehnološka šema pripreme napojne vode od površinske vode (rijeke Sava i Vrbas)

Površinske vode se odlikuju nižim sadržajem mineralnih soli i većim varijacijama u hemijskom sastavu. Takođe, površinske vode imaju veći sadržaj mehaničkih primjesa, veće varijacije u temperaturi (0-30°C), a time i varijacije u sadržaju rastvorenih gasova, što prije svega, zavisi od klimatskih i meteoroloških uslova. Mehaničke primjese u površinskim vodama su organskog i neorganskog porijekla, gdje organsko porijeklo podrazumijeva uticaj ljudskog faktora, kao i uticaj prethodno spomenutih prirodno prisutnih jedinjenja u vodi (tanini i lignini). Ispitivani uzorci površinske vode u ovom radu nisu pokazali očekivane varijacije određenih parametara kvaliteta, što se može objasniti relativno kratkim intervalom uzorkovanja, u kojem promjena klimatskih uslova nije mogla rezultirati različitim sastavom sirove površinske vode (rijeke Sava i Vrbas).

Na slici 5.10. je predložena šema procesa pripreme napojne vode za potrebe parnih kotlova niskog i visokog pritiska iz analiziranih površinskih voda, tačnije rijeke Save i rijeke Vrbasa.



Slika 5.10. Predložena šema hemijske pripreme površinske vode (rijeka Sava i rijeka Vrbas)

Proces hemijske pripreme ispitivanih površinskih voda je predložen u skladu sa odgovarajućim teoretskim saznanjima, kojima se podvrgava površinska voda za pripremu napojne vode u termoenerganama. Sa šeme se vidi da sirova površinska voda koja nosi mehanička onečišćenja mora proći postupke mehaničke obrade. Zatim, mehanički prečišćena voda odlazi na sekciju bistrenja vode, koja obuhvata postupke koagulacije i flokulacije, gdje uz dodatak odgovarajućeg koagulanta (najčešće je to $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) i odgovarajućeg flokulanta (polielektrolit) dolazi do taloženja koloidnih čestica iz ovih površinskih voda. Izbistrena voda odlazi dalje na sekciju hemijskog taloženja, tačnije hemijske dekarbonizacije sa $\text{Ca}(\text{OH})_2$, radi smanjivanja karbonatne tvrdoće (KT) na nivo manji od $100 \text{ CaCO}_3 \text{ mg/L}$. Naime iz rezultata analize obje površinske vode vidljivo je da dominira CaKT u odnosu na MgKT, što ukazuje da se dekarbonizacija može provesti taložnim sredstvom $\text{Ca}(\text{OH})_2$ na toplo, (a da se on ne dovodi u suvišku) i preostalu KT

svesti na vrijednosti od 100 CaCO_3 mg/L (dovoljan uslov za naknadni proces mekšanja vode neutralnom izmjenom). Inače, ovim postupkom dekarbonizacije se izdvaja cjelokupna KT i MgNT (Popović, 2001).

Dalje slijedi postupak filtracije u zatvorenom cilindričnom pješčanom filtru, nakon čega izlazna voda odlazi na sekciju jonske izmjene.

Jonska izmjena se odvija u zavisnosti od zahtijevanog kvaliteta napojne vode za potrebe rada parnih kotlova, bilo da je to kotao za rad pod visokim, odnosno niskim pritiskom. Kad su u pitanju kotlovi koji rade pod visokim pritiskom, zahtijevana napojna voda je voda kvaliteta demineralizovane vode što znači da ulazna voda nakon filtracije mora proći kombinaciju mjenjača jona: jako kiseli katjonski mjenjač ($-\text{SO}_3\text{H}$) radi uklanjanja katjona pri čemu u vodi ostaju mineralne kiseline ($\text{pH} < 4$); potom slabo bazni anjonski mjenjač u kojem se iz vode uklanjau svi anjoni jakih kiselina (ostaje samo H_2CO_3 i H_2SiO_3), a u naknadno postavljenom degazatoru ukloni se i najveći dio rastvorenog CO_2 . Završni proces jonske izmjene podrazumijeva prolazak vode kroz jako bazni anjonski mjenjač koji služi za uklanjanje silicijumove kiseline. Poželjno je na kraju DEMI jedinice postaviti i sigurnosni filter (smjesa katjonske i anjonske mase) radi dobijanja pouzdanijeg sastava demineralizovane vode.

Za parne kotlove niskog pritiska, voda nakon filtracije prolazi kroz jako kiseli katjonski mjenjač (neutralna izmjena $-\text{SO}_3\text{Na}$), iz kojeg izlazi potpuno omekšana voda ($\text{pH} = 7$). Neutralnom izmenom se ne smanjuje salinitet omekšane vode, već se samo soli kalcijuma i magnezijuma zamjenjuju solima natrijuma. U tom slučaju, ukoliko je KT visoka (što jeste slučaj sa analiziranim površinskim vodama) nastaju soli NaHCO_3 i Na_2CO_3 koje se pod uslovima povišenog pritiska i temperature u kotlu razlažu na NaOH i CO_2 (nastali CO_2 je poznati uzročnik korozije). Radi toga je u procesu hemijske dekarbonizacije, potrebno svesti KT do 100 mg CaCO_3/L .

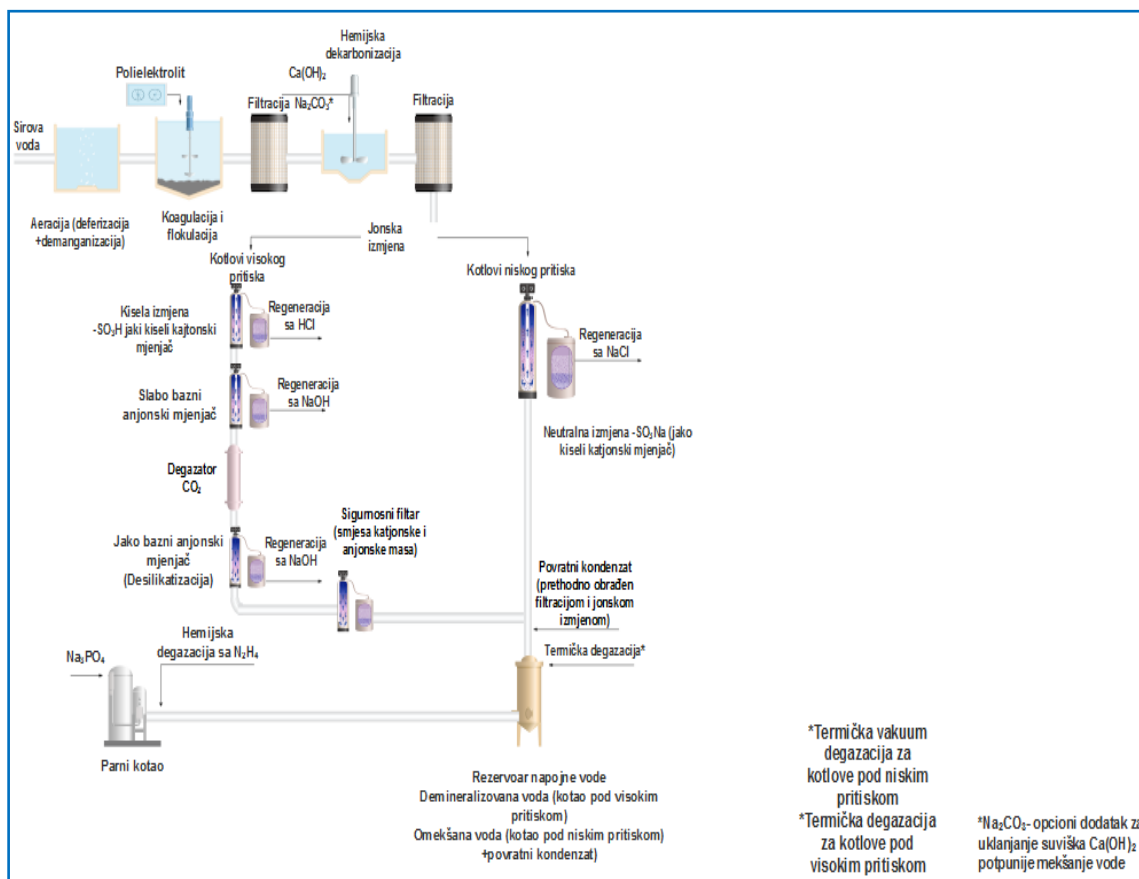
Napojna voda se formira od demineralizovane vode za potrebe kotlova visokog, odnosno omekšane vode za potrebe kotlova niskog pritiska i povratnog kondenzata (koji takođe treba proći dodatnu obradu: filtraciju i jonsku izmjenu). Rezervoar napojne vode obično sadrži i sistem za termičku degazaciju napojne vode, a pred ulazak vode u kotao dodatkom hidrazina vrši se hemijska degazacija rastvorenog kiseonika. U parnim kotlovima, preporučuje se dodatak natrijum-fosfata, ili amonijum fosfata radi uklanjanja rezidualne tvrdoće i zaostalih silikata, kao i radi održavanja potrebne pH vrijednosti vode u kotlu.

5.2.2. Tehnološka šema pripreme napojne vode od podzemne vode

Podzemne vode se odlikuju višim sadržajem mineralnih soli, što dovodi do pojave i veće ukupne i karbonatne tvrdoće, te manjim varijacijama u hemijskom sastavu. Podzemne vode najčešće imaju manje izražene temperaturne varijacije, mnogo manji sadržaj patogenih mikroorganizama, kao i odsustvo mehaničkih nečistoća.

5.2.3. Podzemna voda sa izvorišta Čela, lokalitet Prijedor

Na slici 5.11. je predložena šema procesa pripreme napojne vode, za potrebe parnih kotlova niskog i visokog pritiska, na osnovu analizirane podzemne vode sa izvorišta Čela, lokalitet Prijedor.



Slika 5.11. Predložena šema hemijske pripreme podzemne vode iz sela Čela, lokalitet Prijedor

Proces hemijske pripreme podzemne vode iz sela Čela (lokalitet Prijedor) je predložen u skladu sa odgovarajućim teoretskim saznanjima, kojima se podvrgava podzemna voda. Sa šeme se vidi da sirova podzemna voda koja sadrži visoke koncentracije rastvorenih soli gvožđa i mangana, mora proći procese deferizacije i demanganizacije, nakon čega slijedi

sekcija koagulacije i flokulacije uz dodatak flokulanta (ulogu koagulantu može imati nastali $\text{Fe}(\text{OH})_3$ u procesu deferizacije vode). Dalje, kao i kod površinskih voda, ova podzemna voda dolazi na sekciju hemijskog taloženja, tačnije hemijske dekarbonizacije sa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ radi dovođenja karbonatne tvrdoće na nivo manji od $100 \text{ mgCaCO}_3/\text{L}$. S obzirom na višu UT i KT (posebno višu CaKT) u odnosu na površinske vode, ovdje se očekuje veća potrošnja taložnog sredstava, a po potrebi se za uklanjanje suviška $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dodaje i kalcinisana soda Na_2CO_3 , čime se postiže i potpunije mekšanje vode. Nakon procesa dekarbonizacije slijedi proces filtracije i jonske izmjene, koji, kao i u prethodnom slučaju zavisi od zahtijevanog kvaliteta napojne vode.

Kad su u pitanju kotlovi koji rade pod visokim pritiskom, zahtijevani kvalitet napojne vode podrazumijeva demineralizovanu vodu, odnosno voda mora proći jedinicu jonske izmjene koja podrazumijeva kombinaciju mjenjača jona kao u slučaju obrade površinskih voda

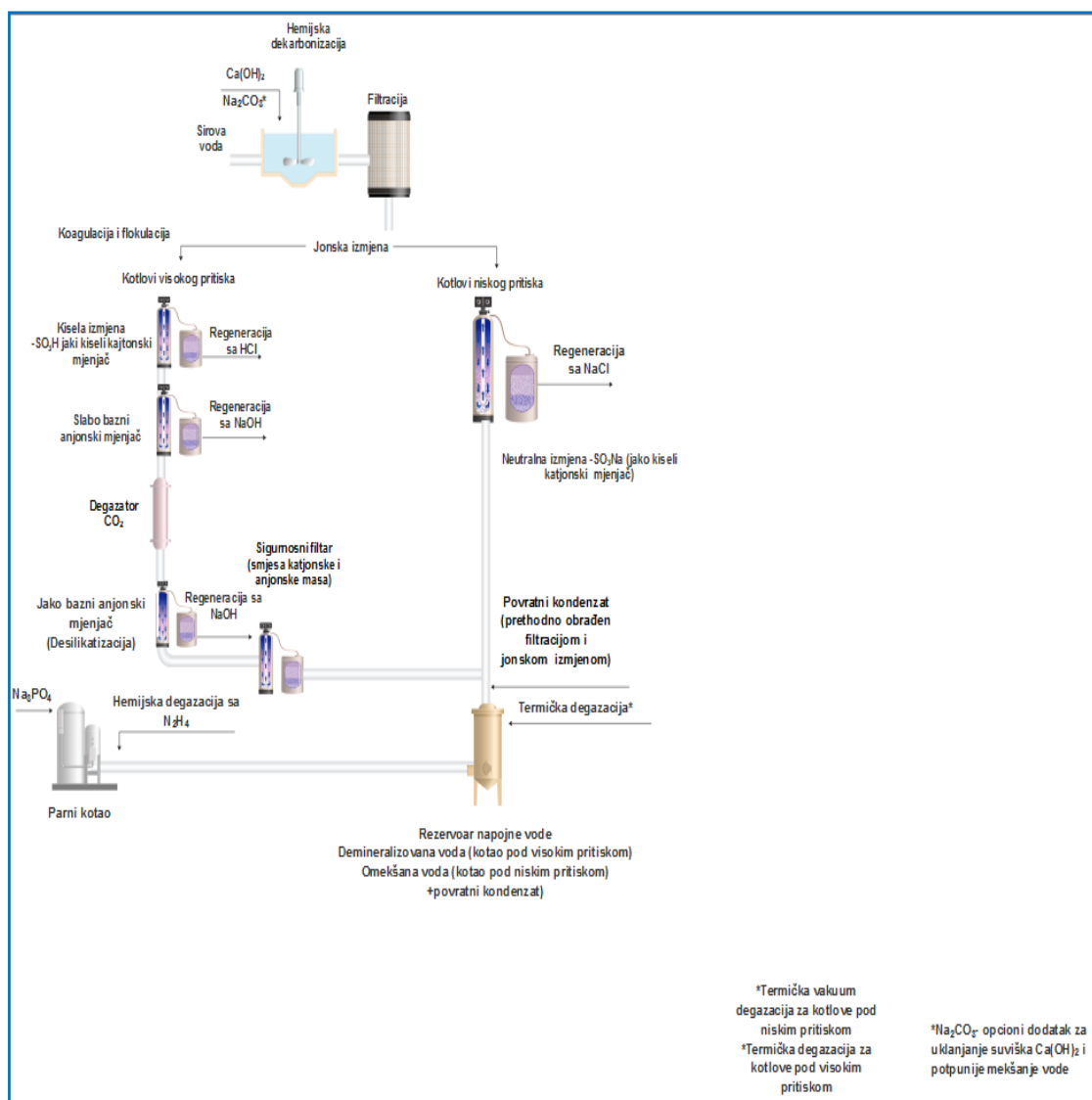
Što se tiče primjene jonske izmjene na vodu za napajanje parnih kotlova niskog pritiska, voda i ovdje, nakon filtracije, prolazi kroz jako kiseli katjonski mjenjač (neutralna izmjena $-\text{SO}_3\text{Na}$), iz kojeg izlazi potpuno omekšana voda koja se uvodi u rezervoar napojne vode.

U rezervoar napojne vode ulaze demineralizovana voda za potrebe kotlova visokog, odnosno omekšana voda za potrebe kotlova niskog pritiska, koje se miješaju sa povratnim kondenzatom. Povratni kondenzat prolazi prethodnu obradu (filtracija + jonska izmjena) kako bi po kvalitetu zadovoljio kriterijume za napojnu vodu.

U sastavu rezervoara napojne vode obično se nalazi i termički degazator, a pred samo napajanje kotlova napojnom vodom, u cjevovod se dozira rastvor hidrazina radi uklanjanja rezidua rastvorenog kiseonika. U parnim kotlovima, preporučuje se dodatak natrijum-fosfata ili amonijum fosfata, radi uklanjanja tragova tvrdoće i SiO_2 , kao i za podešavanje pH vrijednosti vode. Tako je npr., Na_3PO_4 , termički veoma stabilan, vodi daje određeni alkalitet, te pasivizira gvožđe i štiti kotao od korozije. Zato je važno da kotlovska voda uvijek ima u suvišku P_2O_5 , u količini od $10\text{-}20 \text{ g/m}^3$ (Popović, 2001)

5.2.4. Podzemna voda sa izvorišta Brezik Laminci, lokalitet Gradiška

Na slici 5.12. je predložena šema procesa pripreme napojne vode, za potrebe parnih kotlova niskog i visokog pritiska, iz analizirane podzemne vode sa izvorišta Brezik Laminci, lokalitet Gradiška.



Slika 5.12. Predložena šema hemijske pripreme podzemne vode iz sela Brezik Laminci, lokalitet Gradiška

Proces hemijske pripreme podzemne vode iz sela Brezik Laminci (lokalitet Gradiška) je predložen u skladu sa odgovarajućim teoretskim saznanjima, kojima se podvrgava podzemna voda. Sa šeme se vidi da sirova podzemna voda dolazi na sekciju hemijskog taloženja, tačnije hemijske dekarbonizacije sa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ radi dovođenja karbonatne tvrdoće na nivo manji od $100 \text{ mgCaCO}_3/\text{L}$. Dekarbonizacija će se brže i potpunije odvijati na toplo. odnosno na temperaturi od 80°C , a i ovdje se s obzirom na visoku UT i KT može dodavati kalcinisana soda Na_2CO_3 , čime se postiže i potpunije mekšanje vode.

Osim toga, ovdje je eliminisan postupak deferizacije i demanganizacije uz naknadnu koagulaciju i flokulaciju, s obzirom da je sadržaj gvožđa i mangana dosta nizak i može se ukloniti u daljem postupku jonske izmjene u katjonskom mjenjaču jona.

Dalji postupak demineralizacije vode (za kotlove visokog pritiska) i mekšanja vode (za kotlove niskog pritiska) identičan je postupku jonske izmjene kakav je primijenjen i na podzemnu vodu izvorišta Čela. Takođe, dalje slijedi priprema napojne vode uz miješanje sa povratnim prečišćenim kondenzatom, uz obaveznu degazaciju prije ulaska vode u parni kotao i podešavanje pH vode u samom kotlu na $\text{pH} = 8,8 - 9,2$ radi sprečavanja procesa korozije (slika 5.3).

Na kraju, da bi sistem voda-para u nekoj termoelektrani funkcionisao optimalno, potrebno je konstantno kontrolisati sljedeće parametre kvaliteta vode u svim komponentama sistema, a radi stalnog uvida u kvalitet vode važno je to provoditi „on-line“, ugrađenim senzorima, mjeracima i analizatorima na način (*Rajaković i sar., 2003*):

- mjerenje pH vrijednosti (optimalni interval $\text{pH} = 8,8-9,2$);
- mjerenje provodljivosti na više kritičnih tačaka u sistemu;
- održavanje kiseonika u granicama $20 \mu\text{g/L}$ radi sprečavanja kiseonične korozije u kotlu;
- mjerenje sadržaja natrijuma na više mjesta u sistemu radi praćenja: čistoće demineralizovane vode iza miješanog (sigurnosnog) mjenjača jona, kvaliteta pare i čistoće naknadno formiranog kondenzata itd.;
- mjerenje sadržaja hlorida u vodi radi uvida u kvalitet pare, kvalitet napojne i kotlovske vode;
- praćenje sadržaja SiO_2 zbog formiranja izuzetno trvrđih naslaga kamenca u kotlu i na turbinama postrojenja.

Cilj mjerenja važnih parametara kvaliteta vode i pare u svim komponentama sistema je prije svega svodenje pojave korozije u minimalne razmjere, čime se postiže siguran i pouzdan rad postrojenja.

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu provedenih ispitivanja sirove vode sa četiri lokacije (dvije površinske i dvije podzemne vode), te prijedloga šema pripreme napojne vode za kotlove različitog pritiska, može se zaključiti sljedeće:

1. Rezultati analiza ispitivanih uzoraka podzemnih i površinskih voda ukazuju na razliku u kvalitetu površinskih i podzemnih voda, čime se potvrđuje potreba i za njihovom modificovanom šemom pripreme za termoelektroenergetska postrojenja;
2. Podzemne vode formiraju svoj sastav filtracijom vode kroz slojeve minerala i uglavnom imaju konstantan mineralni sastav, za razliku od površinskih voda na koje utiču i vanjski, uglavnom antropogeni faktori (uljev otpadnih voda), ali i klimatski uslovi. Površinske vode su mekše, imaju manju provodljivost, često veću mutnoću i pH-vrijednost, veći sadržaj mehaničkih primjesa, kao i višu koncentraciju rastvorenog kiseonika;
3. Podzemna voda izvorišta Čela (lokalitet Prijedor) zbog povišenog sadržaja gvožđa i mangana zahtijeva primjenu procesa deferizacije i demanganizacije uz naknadnu koagulaciju i flokulaciju, a što nije trebalo primijeniti na vodu sa izvorišta Laminci (lokalitet Gradiška). Takođe, obrada površinske vode zahtijeva početnu mehaničku obradu uz naknadni koagulaciju i flokulaciju, radi često prisutne mutnoće vode u ovim sirovim vodama. Dakle, ulazni sastav sirove vode određuje i tok pripreme napojne vode, čime se potvrđuju i dvije prve hipoteze ovog rada;
4. Iako površinske vode karakteriše promjenljiviji hemijski sastav, mutnoća i temperatura (a time i sadržaj rastvorenih gasova O_2 i CO_2 , kao uzročnika korozije), ove varijacije u uzorcima analiziranih voda nisu primijećene u očekivanim razmjerama. Ovo se može pripisati kratkom intervalu uzorkovanja, kada klimatski uslovi nisu mogli uticati na ukazane vrijednosti parametara. Ipak šema obrade mora biti fleksibilna kako bi mogla pokriti varijacije u kaliteu sirove vode, koje mogu nastati kao posljedica svih godišnjih doba. Ovim je potvrđena i treća hipoteza ovog rada
5. Da bi se dobila napojna voda odgovarajućeg kvaliteta za kotlove visokog i niskog pritiska potrebno je uraditi različitu obradu sirove vode što se posebno ogleda u jedinici jonske izmjene. Kotlovi visokog pritiska zahtijevaju kvalitet demi vode, a kotlovi niskog pritiska omekšanu vodu. Ovako obrađena sirova voda se miješa sa povratnim kondenzatom koji takođe mora proći adekvatnu pripremu kako bi se dobila voda zahtijevanog kvaliteta i nakon degazacije i podešavanja pH-vrijednosti, optimizirao proces u sistemu voda-para u svim svojim segmentima.

7. LITERATURA

1. Amjad Z., (2011) Ed. The Science and Technology of Industrial Water Treatment, Taylor and Francis Group, LLC, USA
2. Angelovski M.I., Čađenović-Milovanović J, (2012) Kvalitet procesa proizvodnje demineralizovane vode, Zbornik radova, 39. Nacionalna konferencija o kvalitetu, Kragujevac, jun, str.335-340.
3. APHA-AWWA-WPCF, (1998) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, part I, American Public Health Association, Washington, 20th edition .
4. Benak J, (1997) Reverzna osmoza u pripremi vode za piće, u Priprema vode za piće u svjetlu novih standarda i normativa, (urednik B. Dalmacija), PMF, Institut za hemiju Novi Sad.
5. BETZ Handbook of Industrial Water Conditioning (1991) BETZ Laboratories Inc.
6. Brezonik L.P., Arnold W.A. (2011) Water Chemistry: An Introduction to the Chemistry of Natural and Engineering Aquatic Systems), Oxford University Press, New York, USA
7. Čoha F., Voda za piće - Standardne metode za ispitivanje higijenske ispravnosti, Privredni pregled, 1990, Beograd
8. Đukić B., Gligorić M., Smiljanić S. (2011) Priprema vode za industriju i energetiku, Univerzitet u Ist. Sarajevu, Tehnološki fakultet, Zvornik.
9. Dalmacija B., Vrbaški Ž., Rončević S., Krčmar (2012) Hemijska tehnologija, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet Novi Sad.
10. Eaton A.D., Clesceri L.S., Rice E.W., Greenberg A.E. (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th Edition, Centennial Edition, American Public Health Association
11. Gaćeša S., Klašnja M. (1994), Tehnologija vode i otpadnih voda, Jugoslovensko udruženje pivara, Beograd.
12. Gajić A, Tomić M., Pavlović Lj., Pavlović M. (2010) Uticaj kvaliteta vode na pouzdanost rada kotlovskih postrojenja, Hem. ind. 64 (4) 311- 317.
13. Gajić A.S., Tomić M.V., Pavlović Lj.J. Pavlović M.G. (2010a) Kvalitet vode kao jedan od mogućih uzročnika korozije u termoenergetskim postrojenjima, Zaštita materijala, **50** (1) 29-34

14. Gligorić M., (2010) Priprema vode za piće, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Tehnološki fakultet, Zvornik.
15. Gržetić I. (2010) Procesi prerade i dorade vode, Univerzitet u Beogradu, Hemijski fakultet, Beograd.
16. Howe K.J., Hand D.W., Crittenden J.C., Trussell R.R., Tchobanoglous G., (2012) Principles of Water Treatment, John Wiley and Sons, Inc, Hoboken, New Jersey, USA
17. Ignjatović N.R., Ilić M.R., Rajaković Lj.V. (2015) Analitičke tehnike za određivanje i praćenje silicijuma u vodi u termoeenergetskim postrojenjima”, Hem. Ind., Beograd, **69** (6) 606-615.
18. Klačnja M, (1996) Membranski procesi u pripremi vode za piće, u Priprema vode za piće u svjetlu novih standarda i normativa, (urednik B. Dalmacija), PMF, Institut za hemiju Novi Sad.
19. Korać V., Tehnologija vode za potrebe industrije, Udruženje za tehnologiju vode-Beograd, 1975, Beograd
20. Košutić K., (n.d.) Membranske tehnologije obrade voda, Zbirka nastavnih tekstova, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb
21. Kukučka M. Đ., Kukučka M. N. (2013) Fizičko-hemijski sastav svjetskih prirodnih voda (monografija), Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd
22. Kurita (1999) Handbook of Water Treatment, Second English Edition, Kurita Water Industries LTD. Tokyo, Japan.
23. Kvalitet voda (2010), Laboratorijski priručnik, Odsek za hidrotehniku i vodno-ekološko inženjerstvo Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd.
24. Ljoljo D. (2012) Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb.
25. Marušić V., Vitez I., Krumez D. (2003) Korozijska oštećenja kotlovskih postrojenja i izmjenjivača topline kao posljedica kvalitete pripreme vode, 3. Naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem “KVALITET 2003”, Zenica, B&H, 13. i 14 novembar, str.315-322.
26. Medenica M., Malešev D., (2002) Eksperimentalna fizička hemija, Univerzitet u Beogradu, Farmaceutski fakultet, Beograd
27. Mutavdžić-Pavlović D., (2010) Fizikalna i kemijska svojstva tla i njihovo određivanje, Interna skripta, Kolegij: Kemijski i biokemijski procesi u tlu i

28. sedimentu, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb
29. Pavlovska G., Jankuloska V., Temelkoska B. (2015) Getting of Industrial Water for Steam Boilers with Treatment of Drinking Water from the Spring "Studenčica", TEM Journal 4 (3) 281-286.
30. Pontius F. W., Clark S.W., (1999) Drinking Water Quality Standards: Regulations and Golds, Chapter 1, U: Letterman R.D., Water Quality and Treatment: A Handbook of Community Water Supplies, American Water Works Association, 5th Edition, McGraw-Hill, Inc, New York, USA.
31. Povrenović D., (2011) Osnovi tehnologije pripreme vode, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd.
32. Popović Z., Tehnologija vode, Tehnološki fakultet Banja Luka, Univerzitet u Banjoj Luci, 2001.
33. Rajaković Lj.V. (2007) Korozijski procesi u termoeenergetskim postorjenjima usled neadekvatnog kvaliteta vode", Integritet i vek konstrukcija, Beograd, 7 (2) 83-88.
34. Rajaković Lj.V. i Kerečki J. (2003) Razvoj analitičke kontrole u sistemu voda-para u termoeenergetskim postrojenjima, Hem. Ind., 57 (7-8) 318-325.
35. Rajaković V.N. i Rajaković Lj.V. (2003) Sprega konvencionalnih i savremenih metoda za obradu vode od ultra čistih do otpadnih, Hem. Ind., 57 (7-8) 307-317.
36. Rajković-Ognjanović V. (2011) Uticaj kvaliteta vode na koroziju čelika, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet Beograd
37. Radovanović M.R., Industrijska voda, Mašinski fakultet Beograd , Univerzitet u Beogradu, 1996.
38. Šećerov-Sokolović R, Sokolović S, (2001) Inženjerstvo u zaštiti okoline, Novi Sad.
39. Snoeyink V.L., Jenkins D., (1980) Water Chemistry, John Wiley and Sons, Inc, USA
40. Stanga M., (2010) Sanitation: Cleaning and Desinfection in the Food Industry Part One, Wiley-VCH, Weinheim, Germany, str.1-76.
41. Šušteršič V., (n.d.) Tehnologije i postrojenja za prečišćavanje vode, Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka, Kragujevac.
42. Tomić M.V., Pavlović M.G., Tadić G, Pavlović Lj.J. (2009) Uzroci korozije u termoeenergetskim postrojenjima i načini prevencije", Zaštita materijala, 50 (1) 51-58.

43. Vukić Lj. (2015) Industrijska voda, interni recenzirani materijal. Univerzitet u Banjoj Luci, Tehnološki fakultet, Banja Luka.
44. Vukić Lj., Papuga S., (2015) Inženjerstvo u zaštiti okoline. Univerzitet u Banjoj Luci, Tehnološki fakultet, Banja Luka.
45. Wang L.K., Hung Y-T., Shamas N.Z., Ed, (2006) Advanced Physicochemical Treatment Processes, Handbook of Environmental Engineering, Humana Press Totowa New Jersey, vol.4
46. Weiner R.F., Matthews R.A., (2003) Environmental Engineering, 4th Edition, Elsevier Science, USA.

Biografija autora

Duško Đukić je rođen 24.07.1993. godine u Gradišci. Osnovnu školu je pohađao u Dubravama (opština Gradiška), a potom Gimnaziju (opšti smjer) u Gradišci. 2012. Godine je upisao Tehnološki fakultet Univerziteta u Banjoj Luci, studijski program Hemijska tehnologija. Osnovne studije je završio 2016. godine u zakonu predviđenom roku, sa prosječnom ocjenom 8,48. Studije drugog ciklusa: Hemijsko inženjerstvo, modul Neorganske hemijske tehnologije je upisao 2016. godine. Dobitnik je NOVUM Huawei nagrade za najboljeg studenta za ostvarene rezultate tokom studiranja u školskoj 2014/2015. godini. Govori engleski i njemački jezik.

Od oktobra 2017. godine, zaposlen je u „V-Z Zaštita“ d.o.o. Banja Luka, kao pripravnik na poslovima zaštite na radu i zaštite od požara. Nema objavljenih naučnih radova. Živi u Gradišci.

Изјава 1

**ИЗЈАВА О
АУТОРСТВУ**

**Изјављујем да
је мастер рад**

Наслов рада: Утицај квалитета сирове воде на технолошки процес припреме напојне воде

Наслов рада на енглеском језику: The influence of raw water quality on boiler feedwater treatment

- ☒ резултат сопственог истраживачког рада,
- ☒ да мастер рад, у цјелини или у дијеловима, није био предложен за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- ☒ да су резултати коректно наведени и
- ☒ да нисам кршио ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

У Бањој Луци, 30.03.2018. године

Потпис кандидата

Đurić Đurić

Изјава 2

Изјава којом се овлашћује Технолошки факултет Универзитета у Бањој Луци да мастер рад учини јавно доступним

Овлашћујем Технолошки факултет Универзитета у Бањој Луци да мој мастер, под насловом:

Утицај квалитета сирове воде на технолошки процес припреме напoјне воде
који је моје ауторско дјело, учини јавно доступним.

Мастер рад са свим прилозима предао сам у електронском формату, погодном за трајно архивирање.

Мој мастер рад, похрањен у д и г и т а л н и р е п о з и т о р и ј у м Универзитета у Бањој Луци, могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (*Creative Commons*), за коју сам се одлучио.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
- 3. Ауторство - некомерцијално - без прераде**
4. Ауторство - некомерцијално - дијелити под истим условима
5. Ауторство - без прераде
6. Ауторство - дијелити под истим условима

У Бањој Луци, 30.03.2018. године

Потпис кандидата

Duško Đukić

Изјава 3

Изјава о идентичности штампане и електронске верзије мастер рада

Име и презиме аутора: Душко Ђукић

Наслов рада: Утицај квалитета сирове воде на технолошки процес припреме
напојне воде

Ментор: Проф. Др Љиљана Вукић

Изјављујем да је штампана верзија мог мастер рада идентична електронској верзији
коју сам предао за дигитални репозиторијум Универзитета у Бањој Луци.

У Бањој Луци, 30.03.2018. године

Потпис кандидата

Đuško Đukić