

# Postrojenje za kondicioniranje vode Butoniga u Istri i proces infiltracije sirove vode

---

Mošnja, Tamara

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:978272>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-16**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Tamara Mošnja**

**Postrojenje za kondicioniranje vode Butoniga u Istri i proces  
infiltracije sirove vode**

**Diplomski rad**

**Rijeka, 2021.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Specijalistički diplomski stručni studij  
Graditeljstvo u priobalju i komunalna infrastruktura  
Osnove kondicioniranja pitkih i pročišćavanja otpadnih voda**

**Tamara Mošnja  
JMBAG: 2427003243**

**Postrojenje za kondicioniranje vode Butoniga u Istri i proces  
infiltracije sirove vode**

**Diplomski rad**

**Rijeka, rujan 2021.**

Naziv studija: **Specijalistički diplomski stručni studij**

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: Građevinarstvo

Znanstvena grana: Hidrotehnika

Tema diplomskog rada

**POSTROJENJE ZA KONDICIONIRANJE VODE BUTONIGA U ISTRI I PROCES  
INFILTRACIJE SIROVE VODE  
BUTONIGA WATER CONDITIONING PLANT IN ISTRIA AND RAW WATER  
INFILTRATION PROCESS**

Kandidatkinja: **TAMARA MOŠNJA**

Kolegij: **OSNOVE KONDICIONIRANJA PITKIH I PROČIŠĆAVANJA**

Diplomski rad broj: **SPEC-2021-04**

**Zadatak:**

U diplomskom radu je potrebno prikazati opće geografske, hidrološke i klimatološke značajke danog područja koje će se analizirati. Diplomski rad treba obuhvaćati detaljan opis postrojenja za kondicioniranje sirove vode Butoniga sa svim njegovim fazama prerade sirove vode, zajedno sa opisom i karakteristikama postojeće akumulacije Butoniga u neposrednoj blizini postrojenja. Također, potrebno je jasno definirati namjenu i svrhu postrojenja za kondicioniranje sirove vode na širem području, odnosno potrebne količine vode u ljetnom periodu godine za potrebe opskrbe vodom pojedinih djelova Istarske županije. Glavni fokus rada treba usmjeriti na proces infiltracije sirove vode na danom postrojenju. U tu svrhu potrebno je opisati način rada sporih i brzih filtera, način određivanja granulometrije filterskih slojeva, te kvantitativan proračun zadržavanja suspendiranih tvari na porama filterskog sloja. Kroz hidrauličke proračune u procesu filtracije potrebno je sprovesti adekvatne zaključke i analize na temelju dobivenih podataka kroz grafičke i tablične prikaze. Unutar rada je potrebno sprovesti popis cjelokupne korištene literature koja je bila potrebna kroz izradu diplomskog rada.

Tema rada je uručena: 24. veljače 2021.

Mentor

doc. dr. sc. Elvis Žic,  
dipl.ing.građ.

## **IZJAVA**

Diplomski rad sam izradila samostalno, u suradnji s mentorom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

---

Tamara Mošnja

U Rijeci, 31. kolovoza 2021.

## **ZAHVALA**

Prvenstveno se zahvaljujem mentoru doc.dr. sc. Elvisu Žicu, dipl. ing. građ. na pomoći, uputama, pojašnjenjima i pristupačnosti tijekom izrade ovog rada.

Zahvaljujem se i djelatnicima radne jedinice RJ Butoniga (Istarski Vodovod d.o.o., Buzet) na obilasku postrojenja, ustupljenim materijalima i pojašnjenjima koji su prezentirani u dijelu ovog rada.

Tamara Mošnja

## SAŽETAK

U diplomskom radu pod temom „Postrojenje za kondicioniranje vode Butoniga u Istri i proces infiltracije sirove vode“ u kratko je opisana organizacija vodoopskrbnog sustava Istarske županije s naglaskom na područje djelovanja Istarskog Vodovoda d.o.o. Buzet, te je detaljno opisan proces kondicioniranja vode na postrojenju radne jedinice RJ Butoniga. Postrojenje u radnoj jedinici RJ Butoniga djeluje kao samostalna cjelina u sustavu Istarskog Vodovoda Buzet i predstavlja jedan od najsvremenijih sustava za kondicioniranje vode u RH.

Postrojenje Butoniga u procesu kondicioniranja vode iz istoimenog akumulacijskog jezera obuhvaća predtretman, glavno kondicioniranje te pomoćne procese obrade otpadne vode nastale prilikom čišćenja i pranja filtera i neutralizaciju otpadnih voda od kemikalija.

U dijelu rada prikazani su prikupljeni podaci o količinama proizvedene vode u postrojenju Butoniga, te usporedba karakterističnih parametara sirove vode i vode nakon kondicioniranja kao i usporedba karakterističnih parametara vode prije i nakon procesa brze filtracije.

U završnom dijelu rada detaljnije je opisan proces filtracije, značajke spore i brze filtracije, te je prikazan i primjer izračuna pojedinih parametara pri procesu filtriranja.

**Ključne riječi:** Vodoopskrbni sustav, Istarski Vodovod, kondicioniranje vode, postrojenje Butoniga, akumulacijsko jezero, izvori, filtracija

The thesis entitled "Butoniga water conditioning plant in Istria and the process of infiltration of raw water" briefly describes the organization of the water supply system of the Istrian County with emphasis on the area of operation of Istarski Vodovod d.o.o. Buzet, and the process of water conditioning at the plant of the work unit RJ Butoniga is described in detail. The plant in the working unit of RJ Butoniga operates as an independent unit in the system of Istarski Vodovod d.o.o. Buzet and is one of the most modern water conditioning systems in the Republic of Croatia.

The Butoniga plant in the process of water conditioning from the accumulation lake of the same name includes pre-treatment, main conditioning and auxiliary processes

of wastewater treatment generated during cleaning and washing of filters and neutralization of wastewater from chemicals.

The part of this thesis presents the collected data on the quantities of water produced in the Butoniga plant, and a comparison of the characteristic parameters of raw water and water after conditioning as well as a comparison of the characteristic parameters of water before and after the rapid filtration process.

In the final part of this thesis, the filtration process, the characteristics of slow and fast filtration are described in more detail, and an example of the calculation of individual parameters in the filtration process is presented.

**Keywords:** Water supply system, Istarski Vodovod, water conditioning, Butoniga plant, accumulation lake, springs, filtration



# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. ZAKONSKA REGULATIVA.....	3
3. VODOOPSKRBNI SUSTAV ISTARSKE ŽUPANIJE.....	8
3.1. Povijest Istarskog Vodovoda Buzet .....	9
3.2. Današnje stanje Istarskog Vodovoda Buzet.....	10
3.3. Izvori i akumulacijsko jezero .....	12
3.3.1. Izvor Sv. Ivan.....	12
3.3.2. Izvor Gradole .....	13
3.3.3. Izvor Bulaž .....	15
3.3.4. Akumulacijsko jezero Butoniga .....	15
4. KONDICIONIRANJA VODE U POSTROJENJU BUTONIGA .....	17
4.1. Primarni proces obrade vode.....	19
4.1.1. Zahvat sirove vode .....	19
4.1.2. Predozoniranje.....	22
4.1.3. Koagulacija i flokulacija (zgrušavanje i pahuljičenje) .....	22
4.1.4. Flotacija.....	24
4.1.5. Brza filtracija .....	25
4.1.6. Glavno ozoniranje .....	27
4.1.7. Spori pješčani filteri.....	29
4.1.8. Dezinfekcija .....	30
4.1.9. Završna korekcija pH vrijednosti.....	30
4.1.10. Pumpanje u tlačni vod.....	30
4.1.11. Dokloriranje .....	31
4.2. Pomoćni proces obrade vode .....	31
4.2.1. Stanica za čišćenje pijeska sa sporih pješčanih filtera .....	32
4.2.2. Obrada vode od pranja filtera .....	32
4.2.3. Obrada mulja.....	32
4.2.4. Neutralizacija otpadnih voda od kemikalija.....	33
4.3. Količina i parametri sirove i proizvedene vode u postrojenju Butoniga.....	33
4.3.1. Količine proizvedene vode .....	34
4.3.2. Parametri sirove i proizvedene vode.....	36
4.3.3. Pojedini parametri vode prije i nakon procesa filtracije na brzim pješčanim filterima...38	
4.3.4. Utjecaj termičke stratifikacije.....	41

5. FILTRACIJA, GRAVITACIJSKI FILTERI I PRIMJER PRORAČUNA.....	44
5.1. Osnovne značajke sporih filtera.....	50
5.2. Brzi filteri.....	51
5.2.1. <i>Konstrukcija, filterska ispuna (medij) i drenažni sustav brzih filtera</i> .....	53
5.2.1. <i>Rad filtera, povratno pranje i način upravljanja</i> .....	57
5.2. Primjeri izračuna pojedinih parametara pri procesu filtriranja .....	60
6. ZAKLJUČAK.....	69
LITERATURA.....	71

## **POPIS TABLICA I GRAFOVA**

Tablica 1.: Vrijednosti pojedinih parametara zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju [15]

Tablica 2.: Količina proizvedene vode u postrojenju Butoniga [5, 6, 7, 8, 9]

Tablica 3.: Proizvodnja Istarskog Vodovoda i udio postrojenja Butoniga [5, 6, 7, 8, 9]

Tablica 4.: Vrijednosti pojedinih parametara zdravstvene ispravnosti sirove vode i vode nakon procesa kondicioniranja u postrojenju Butoniga [5, 6, 7, 8, 9]

Tablica 5.: Granulometrijska obilježja dobivena prosijavanjem uzorka [21]

Graf 1.: Prikaz povećanja broja potrošača-područje djelovanja Istraskog Vodovoda [8]

Graf 2.: Prikaz količine proizvedene vode u postrojenju Butoniga [5, 6, 7, 8, 9]

Graf 3.: Mutnoća vode (NTU vrijednosti) prije i nakon filtracije na brzim pješčanim filterima u postrojenju Butoniga [8, 12, 15]

Graf 4.: Koncentracije mangana (mg/l) prije i nakon filtracije na brzim pješčanim filterima u postrojenju Butoniga [8, 12, 15]

Graf 5.: Optimalno vrijeme rada filtera [19]

Graf 6.: Granulometrijski dijagram uzorka

## **POPIS SLIKA**

Slika 1.: Područja djelovanja vodovoda i vodozahvati na području Istarske ž. [10]

Slika 2.: Organizacijska shema Istarskog Vodovoda Buzet [8]

Slika 3.: Izvor Sv. Ivan [6]

Slika 4.: Izvor Gradole [6]

Slika 5.: Izvor Bulaž [6]

Slika 6.: Akumulacijsko jezero i postrojenje za kondicioniranje vode Butoniga [6]

Slika 7.: Dispozicija građevina postrojenja za kondicioniranje vode Butoniga [12]

Slika 8.: Tehnološka shema postrojenja za kondicioniranje vode Butoniga [12]

Slika 9.: Isječak centralnog nadzora postrojenja Butoniga, Proces kondicioniranja

Slika 10.: Usisni toranj, akumulacija Butoniga [12]

Slika 11.: Shema usisnog tornja [19]

Slika 12.: Shema usisnog tornja akumulacija Butoniga [12]

Slika 13.: Isječak centralnog nadzora PKV Butoniga, Usisni toranj s izmjerenim parametrima, (Foto: Tamara Mošnja, 2021.)

- Slika 14.: Koagulacija, flokulacija i flotacija, PKV Butoniga [12]
- Slika 15.: Shematski prikaz – koagulacija, flokulacija i flotacija [12]
- Slika 16.: Brzi filter, PKV Butoniga (Foto: Tamara Mošnja, 2021.)
- Slika 17.: Brzi filter, PKV Butoniga (Foto: Tamara Mošnja, 2021.)
- Slika 18.: Mjerenje parametara vode na izlazu iz brzih filtera, PKV Butoniga  
(Foto: Tamara Mošnja, 2021.)
- Slika 19.: Cjevovod - odvod vode iz brzih filtera, PKV Butoniga (Foto: Tamara Mošnja, 2021.)
- Slika 20.: Proizvodnja ozona, PKV Butoniga (Foto: Tamara Mošnja, 2021.)
- Slika 21.: Spori filter, PKV Butoniga (Foto: Tamara Mošnja, 2021.)
- Slika 22.: Spori filter, PKV Butoniga (Foto: Tamara Mošnja, 2021.)
- Slika 23.: Pumpanje vode u tlačni vod, PKV Butoniga (Foto: Tamara Mošnja, 2021.)
- Slika 24.: Obradeni prešani mulj, PKV Butoniga, (Foto: Tamara Mošnja, 2021.)
- Slika 25.: Termička stratifikacija, Miješanje slojeva, (jesen, zima i proljeće), [12]
- Slika 26.: Termička stratifikacija Vertikalna stratifikacija (ljetno), [12]
- Slika 27.: Indirektan zahvat vode iz površinskog vodotoka [13]
- Slika 28.: Direktan zahvat vode iz površinskog vodotoka [13]
- Slika 29.: Presjek kroz brzi filter [19]
- Slika 30.: Brzi filteri [20]
- Slika 31.: Vrste filterskih ispuna kod brzih filtera [1]
- Slika 32.: Drenažni sustav sa sapnicama [18]
- Slika 33.: Sapnice kao element drenažnog sustava brzog filtera [19, 20]
- Slika 34.: Shema rada brzog filtera [1]
- Slika 35.: Shema pranja brzog filtera [1]

## 1. UVOD

Iako voda pokriva oko tri četvrtine zemljine površine, te je obnovljivi resurs, samo se ograničena količina pitke vode može iskoristiti u nekom vremenskom razdoblju, zbog čega je veoma važno utjecati na uštedu vode, odnosno koristiti je racionalno kako bi se u vodotocima ostavljalo što više raspoložive vode.

Voda, osim što je nužna za život, ona i utječe na čovjekovo zdravlje, čini sastavni dio većine stanica u tijelu, opskrbljuje stanice kisikom i hranom, a odnosi štetne tvari, čini dio naše krvi, pomaže u zaštiti od brojnih bolesti, utječe na povećanje broja kalorija koje trošimo u dnevnim aktivnostima te ima niz drugih funkcija.

Za razumijevanje važnosti pitke vode, bitan je podatak da npr. u Africi i Aziji tri četvrtine stanovništva nema čiste pitke vode i da približno 5 milijuna ljudi umre svake godine od posljedica bolesti koje se prenose prljavom vodom, te da gotovo 80% svih bolesti nastaju zbog nečiste vode za piće, zbog čega zaštita okoliša i opskrba pitkom vodom jesu glavni problemi i čine izazov za razvoj i sam opstanak civilizacije. [22].

U cilju osiguranja zdrave i čiste pitke vode, ona ne smije sadržavati tvari koje mogu ugroziti ljudsko zdravlje i mora isuniti određene zahtjeve koji se odnose na mikrobiologiju, kemiju i izgled.

Na području Istarske županije djeluju tri samostalna i međusobno poslovno neovisna vodovoda koji raspolažu vlastitim izvorištima vode, transportno distribucijskim sustavom te područjem opskrbe i potrošnje.

Istarski Vodovod d.o.o. Buzet sa sjedištem u Buzetu u svojem sustavu ima tri izvorišta i jedno akumulacijsko jezero ukupnog kapaciteta od 2.900 l/s [23].

Postrojenje za kondicioniranje vode Butoniga nalazi se uz istoimeno akumulacijsko jezero smješteno u sjevernom dijelu Istarskog poluotoka nedaleko grada Buzeta i čini dio sustava Istarskog Vodovoda d.o.o. Buzet.

Postupak kondicioniranja vode u postrojenju Butoniga, zbog karakteristika parametara sirove vode iz akumulacijskog jezera, osim samog zahvata vode obuhvaća složene procese - predozoniranje, koagulacija i flokulacija, flotacija, brza filtracija, glavno ozoniranje, spori pješčani filteri, dezinfekcija, završna korekcija pH vrijednosti, pumpanje u tlačni vod i dokloriranje te sekundarne procese čišćenja pijeska od sporih filtera, obradu mulja, pročišćavanje vode od pranja filtera te neutralizaciju otpadnih voda od kemikalija. Cijelokupni proces kondicioniranja vode nadzire se iz centralnog nadzora sa stalnim praćenjem svih potrebnih parametara vode po fazama procesa, kao i samih procesa.

Postrojenje za kondicioniranje vode je u prvoj fazi projektirano za preradu vode od 1.000 l/s odnosno 3.600 m<sup>3</sup>/h, te tako djeluje i danas, do buduće realizacije druge faze projekta za konačni kapacitet od 2.000 l/s. [12].

Istarski Vodovod kontinuirano ulaže u razvoj sustava za kondicioniranje vode, distribucijsku mrežu, objekte kao i u osiguranje dovoljne količine ispravne pitke vode za opskrbu stanovništva na području djelovanja vodovoda.

## 2. ZAKONSKA REGULATIVA

Zdravstvena ispravnost vode za ljudsku potrošnju je od neizmjerne važnosti, te se na području Republike Hrvatske primjenjuju zakonski propisi, u cilju zaštite ljudskog zdravlja od nepovoljnih utjecaja bilo kojeg onečišćenja vode za ljudsku potrošnju i osiguravanja zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju.

Zakonom o vodi za ljudsku potrošnju (NN 56/2013, NN 64/15, 104/2017, NN 115/18, NN 16/20) uređuje se zdravstvena ispravnost vode za ljudsku potrošnju, nadležno tijelo za provedbu Zakona i način izvještavanja Europske komisije o provedbi Zakona, obveze pravnih osoba koje obavljaju opskrbu vodom za ljudsku potrošnju, način postupanja i izvješćivanja u slučaju odstupanja od parametara za provedbu sukladnosti vode za ljudsku potrošnju, monitoring i druge službene kontrole zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju i njihovo financiranje. Zakon sadrži odredbe koje su u skladu s Direktivom Vijeća 1998/83/EZ od 3. studenoga 1998. o kvaliteti vode namijenjene za ljudsku potrošnju [14].

Nadležno tijelo za provedbu Zakona i provedbenih propisa donesenih na temelju ovoga Zakona je ministarstvo nadležno za zdravlje [14].

Službeni laboratoriji za obavljanje analiza u svrhu provođenja monitoringa i drugih službenih kontrola vode za ljudsku potrošnju su laboratoriji Hrvatskog zavoda za javno zdravstvo i zavoda za javno zdravstvo županije odnosno Grada Zagreba [14].

Između ostalih odredbi, Zakon sadrži odredbe koje se primjenjuju na sve vode bez obzira na njihovo porijeklo u prirodnom (izvornom) stanju ili nakon obrade, ako se koriste kao voda za ljudsku potrošnju.

Prema Zakonu voda namijenjena za ljudsku potrošnju je [14]:

a) sva voda koja je u svojem izvornom stanju ili nakon obrade namijenjena za piće, kuhanje, pripremu hrane ili druge potrebe kućanstava, neovisno o njezinom porijeklu, te neovisno o tome potječe li iz sustava javne vodoopskrbe, iz cisterni ili iz boca odnosno posuda za vodu

b) sva voda koja se rabi u industrijama za proizvodnju hrane u svrhu proizvodnje, obrade, očuvanja ili stavljanja na tržište proizvoda ili tvari namijenjenih za ljudsku potrošnju, osim ako nadležno tijelo ne utvrdi da kakvoća vode ne može utjecati na zdravstvenu ispravnost hrane u njezinom konačnom obliku.

Zdravstveno ispravnom vodom za ljudsku potrošnju smatra se voda koja [14]:

- ne sadrži mikroorganizme, parazite i njihove razvojne oblike u broju koji predstavlja opasnost za zdravlje ljudi,
- ne sadrži štetne tvari u koncentracijama koje same ili zajedno s drugim tvarima predstavljaju opasnost za zdravlje ljudi,
- ne prelazi vrijednosti parametara zdravstvene ispravnosti vode, odnosno njihove maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) propisane Zakonom.

Voda za ljudsku potrošnju mora ispunjavati parametre za provjeru sukladnosti vode za ljudsku potrošnju na sljedećim mjestima [14]:

- na mjestu potrošnje vode,
- na slavini cisterne ako se koristi kao voda za ljudsku potrošnju,
- na mjestu punjenja u boce ili drugu ambalažu za vode u originalnom pakiranju, te tijekom trajanja roka valjanosti proizvoda i
- u objektima za poslovanje s hranom, na mjestu gdje se voda koristi u proizvodnji hrane, predmeta koji dolaze u neposredan dodir s hranom i predmeta opće uporabe.

Pravna osoba koja obavlja djelatnost javne vodoopskrbe obvezna je osigurati da voda za ljudsku potrošnju koju isporučuje ispunjava sve propisane parametre za provjeru sukladnosti, te mora [14]:

- zaštititi i održavati vodoopskrbne objekte kojima upravlja, odnosno koje koristi, osigurati da vodoopskrbni objekti udovoljavaju sanitarno-tehničkim i higijenskim te drugim uvjetima
- uspostaviti sustav samokontrole zdravstvene ispravnosti vode na osnovi sustava analize opasnosti i kritičnih kontrolnih točaka (u daljnjem tekstu: sustav samokontrole (HACCP)), koji omogućava prepoznavanje kontrolnih točaka i kritičnih kontrolnih točaka u cjelokupnom sustavu zahvaćanja, obrade



- i isporuke vode, a unutar sustava samokontrole moraju se odrediti prikladna mjesta i učestalost uzorkovanja vode u svrhu kontrole njezine zdravstvene ispravnosti (plan uzorkovanja),
- prijaviti Stručnom povjerenstvu iz članka 11. ovoga Zakona i mjesno nadležnoj sanitarnoj inspekciji svako odstupanje parametara zdravstvene ispravnosti i indikatorskih parametara u vodi za ljudsku potrošnju iznad maksimalno dopuštenih koncentracija (M.D.K.) vrijednosti, propisanih pravilnikom iz članka 10. stavka 2. podstavka 1. ovoga Zakona, u roku od 24 sata od kada je odstupanje otkriveno te
  - obavijestiti nadležna tijela državne uprave kada je radi uklanjanja uzroka nesukladnosti s propisanim parametrima potrebno provesti mjere na vodozaštitnom području.

Pravna osoba koja obavlja djelatnost javne vodoopskrbe na vodoopskrbnom području mora obavljati ispitivanje vode na vodocrpilištu kojim upravlja, odnosno na kojem obavlja djelatnost javne vodoopskrbe u opsegu analize na kemijske, mikrobiološke i indikatorske parametre, propisane pravilnikom [14].

Provjeru sukladnosti vode namijenjene javnoj vodoopskrbi, osobito poštivanje MDK vrijednosti nadzire Hrvatski zavod za javno zdravstvo stalnim praćenjem (monitoringom) [14].

Pravilnik o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN 125/2017, 39/2020) propisuje:

- parametre zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju (mikrobiološki i kemijski) i indikatorski parametri vode za ljudsku potrošnju (mikrobiološki i kemijski),
- učestalost uzimanja uzoraka vode za ljudsku potrošnju u sklopu sustava samokontrole subjekata u poslovanju s hranom,
- učestalost uzimanja uzoraka vode za ljudsku potrošnju u sklopu sustava samokontrole od strane subjekta u poslovanju s hranom koji puni vodu u boce ili drugu ambalažu za stavljanje na tržište,

- parametre, vrste i opseg analize uzoraka vode za ljudsku potrošnju za provedbu redovnog i revizijskog monitoringa
- učestalost uzimanja uzoraka vode za ljudsku potrošnju za redovni i revizijski monitoring (praćenje),
- vrste i opseg analiza te broj potrebnih uzoraka vode za ljudsku potrošnju u svrhu ispitivanja njezine zdravstvene ispravnosti u građevinama prije izdavanja uporabne dozvole,
- metode laboratorijskog ispitivanja zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju.

Parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju odnose se na mikrobiološke parametre i kemijske parametre [15]:

- mikrobiološki parametri: escherichia coli, enterokoki, clostridium perfringens, pseudomonas aeruginosa i enterovirusi
- kemijski parametri: akrilamid, antimon, arsen, bakar, benzen, benzo(a)piren, bor, bromati, cijanidi, epiklorhidrin, fluoridi, kadmij, krom, klorit, klorat, nikal, nitrati, nitriti, olovo, otopljeni ozon, policiklički aromatski ugljikovodici (PAH), pesticidi, pesticidi ukupni, selen, trihalometan - ukupni (THM), 1,2-dikloretan, suma tetrakloretan i trikloretan, vinil klorid i živa.

Indikatorski parametri vode za ljudsku potrošnju odnose se na mikrobiološke parametre, kemijske parametre i na radioaktivnost [15]:

- mikrobiološki parametri: broj kolonija na 22 °C i na 36 °C te ukupni koliformi
- kemijski parametri: aluminij, amonij, barij, berilij, boja, cink, deterdženti – anionski i neionski, fenoli, fosfati, kalcij, kalij, kloridi, kobalt, koncentracija vodikovih iona (pH), magnezij, mangan, ugljikovodici, miris, mutnoća, natrij, okus, silikati, slobodni klor, srebro, sulfati, temperatura, ukupni organski ugljik (TOC), ukupna tvrdoća, ukupne suspenzije, utrošak kalijevog permanganata (KMnO<sub>4</sub>), vanadij, vodikov sulfid, vodljivost i željezo
- radioaktivnost: tricij i ukupna primljena doza.

U Tablici 1. su prikazane vrijednosti pojedinih parametara zdravstvene ispravnosti i indikatorskih parametara vode za ljudsku potrošnju gdje M.D.K. predstavlja maksimalno dopuštenu koncentraciju, odnosno maksimalno dopuštene količine.

*Tablica 1.: Vrijednosti pojedinih parametara zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju [15]*

<b>Pokazatelj</b>	<b>Mjerna jedinica</b>	<b>M.D.K.</b>
<b>Mikrobiološki parametri i indikatori</b>		
Escherichia coli (E. Coli)	broj/100 ml	0
Enterokoki	broj/100 ml	0
Clostridium perfringens	broj/100 ml	0
Enterovirusi	broj/5000 ml	0
Broj kolonija 22 °C	broj / 1 ml	100
Broj kolonija 36 °C	broj / 1 ml	100
<b>Kemijski parametri i indikatori</b>		
Temperatura	°C	25
Mutnoća	NTU	4
Miris		bez
Okus		bez
Akrilamid	µg/l	0,1
Antimon	µg/l	5
Arsen	µg/l	10
Benzen	µg/l	1
Krom	µg/l	50
Bakar	mg/l	2
Cijanidi	µg/l	50
Fluoridi	mg/l	1,5
Olovo	µg/l	10
Živa	µg/l	1
Aluminij	µg/l	200
Amonij	mg/l	0,5
Cink	µg/l	3000
Kloridi	mg/l	250
Koncentracija vodikovih iona	pH jedinica	6,5-9,5
Mangan	µg/l	50
Natrij	mg/l	200
Slobodni rezidualni klor	mg/l	0,5
Sulfati	mg/l	250
Željezo	µg/l	200

Napomena za površinske vode, kao što je i akumulacijsko jezero Butoniga – u slučaju obrade površinskih voda potrebno je postići vrijednost koja ne prelazi 1,0 NTU (jedinice neferometrijske mutnoće) u vodi neposredno nakon postrojenja za obradu.

### 3. VODOOPSKRBNI SUSTAV ISTARSKE ŽUPANIJE

U Istarskoj županiji djeluju tri samostalna i međusobno poslovno neovisna vodovoda (Slika 1.):

- Istarski Vodovod Buzet i Vodoopskrbni sustav Istre – Vodovod Butoniga,
- Vodovod Pula i
- Vodovod Labin.

Vodovodi raspolažu vlastitim izvorištima vode, transportno distribucijskim sustavom te područjem opskrbe i potrošnje. Dok su Istarski Vodovod Buzet zajedno s Vodoopskrbnim sustavom Istre – Vodovod Butoniga i Vodovod Pula međusobno povezani s isprepletenim distribucijskim sustavom i u pogledu opskrbe potrošača čine cjelinu, Vodovod Labin je u cijelosti neovisan sustav (Slika 1.).



Slika 1.: Područja djelovanja vodovoda i vodozahvati na području Istarske županije [10]

### 3.1. Povijest Istarskog Vodovoda Buzet

Godine 1930. započela je izgradnja Istarskog Vodovoda kaptažom izvora Sv. Ivan, te je osnovan 1933. godine puštanjem u pogon sustava Sv. Ivan.

Godine 1967. započela je izgradnja vodovoda Gradole u dolini rijeke Mirne, a investitor je bio Istarski Vodovod Buzet. Suinvestitori su bili Rižanski Vodovod Kopar i Vodovod Pula, te je ugovoren i omjer za utvrđivanje financijskih udijela i korištenja vode. Izvor je uključen 1969. godine izgradnjom privremenog crpnog agregata, a 1973. godine završen je cijeli vodoopskrbni sustav.

Kako se krajem 80-ih godina na području Istre sve više počeo razvijati turizam, potrebe za vodom bile su sve veće, zbog čega je 1998. godine izgrađen sustav Bulaž kako bi se dijelom nadopunio manjak kapaciteta postojećeg vodovodnog sustava u ljetnom periodu.

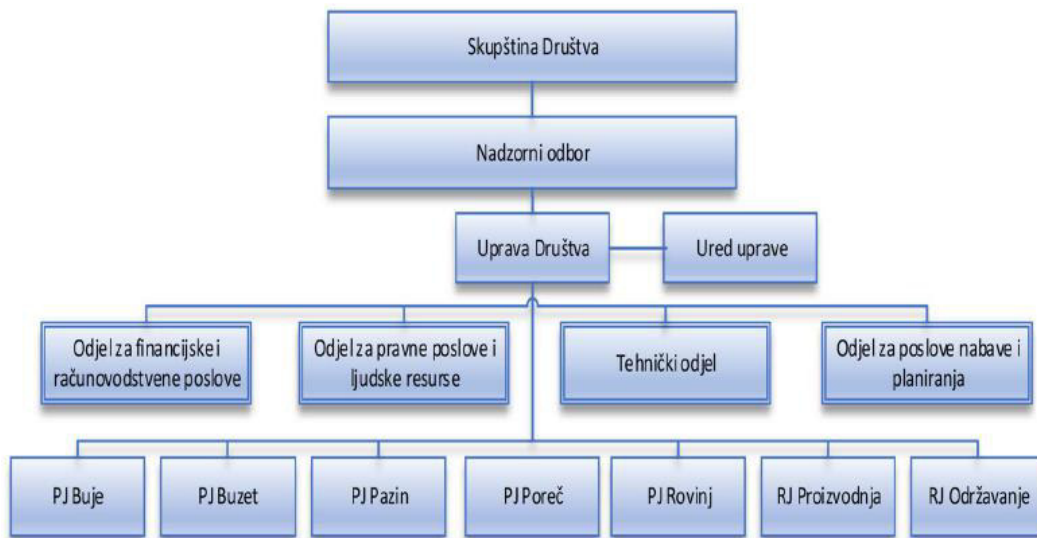
Brana na akumulacijskom jezeru Butoniga izgrađena je 1987. godine, a jezero je po prvi puta napunjeno 1988. godine kada je akumulacijsko jezero i uključeno u sustav vodoopskrbe na način da se izgradnjom privremene crpne stanice Butoniga voda iz akumulacijskog jezera započela koristiti za dohranjivanje izvora Gradole u ljetnom periodu i to podzemnim putem. Voda iz akumulacijskog jezera upuštala se u ponor Čiže, koji je dio sliva izvora Gradole. Kako bi se omogućilo korištenje vode iz akumulacijskog jezera i za opskrbu vodoopskrbnog distribucijskog područja Vodovoda Pula, 1990. godine izgrađen je magistralni cjevovod do Pule, te je izgrađen uređaj za privremeno kondicioniranje vode u Bermu.

Do 2002. godine, odnosno do završetka izgradnje i puštanja u rad prve faze uređaja za kondicioniranje vode Butoniga, godišnje se iz akumulacijskog jezera u prosjeku crpilo 850.000 m<sup>3</sup> vode [23].

Godine 2012. postrojenje Butoniga i akumulacijsko jezero povezano je s izvorom Bulaž, te se na taj način omogućila nadopuna akumulacije s približno 400 l/s.

### 3.2. Današnje stanje Istarskog Vodovoda Buzet

Istarski Vodovod Buzet sa sjedištem u Buzetu djeluje kao trgovačko društvo s ograničenom odgovornošću, a vlasnici društva su jedinice lokalne i područne samouprave čiji predstavnici čine Skupštinu i Nadzorni odbor društva.



Slika 2.: Organizacijska shema Istarskog Vodovoda Buzet [8]

Područje djelovanja (Slika 2.):

- poslovne jedinice (PJ) - Buje, Buzet, Pazin, Poreč i Rovinj
- ispostave Karojba, Kaštelir, Novigrad, Umag, Vrsar i Žminj
- radne jedinice proizvodnje (RJ Proizvodnja) za proizvodnju vode koje su smještene u blizini izvora na kojima se crpi sirova voda i to Sv. Ivan, Gradole i akumulacijskog jezera Butoniga, te radne jedinice održavanja (RJ Održavanje)
- poslovne funkcije za financije i računovodstvo, pravne poslove i ljudske resurse, tehničke poslove i poslove nabave i planiranja obavljaju se u stručnim službama u Buzetu [8].

Konfiguracija terena Istarkog poluotoka je veoma raznolika, te se Istarski Vodovod Buzet svrstava u jedan od najsloženijih sustava vodoopskrbe. Istarski Vodovod Buzet ulaže u stalnu modernizaciju, dopunu i održavanje sustava i distribucije kao i sustave nadzora i upravljanja, GIS sustava, te uvođenju sustava HACCP i osiguravanja certifikata.

**Osnovni podaci:**

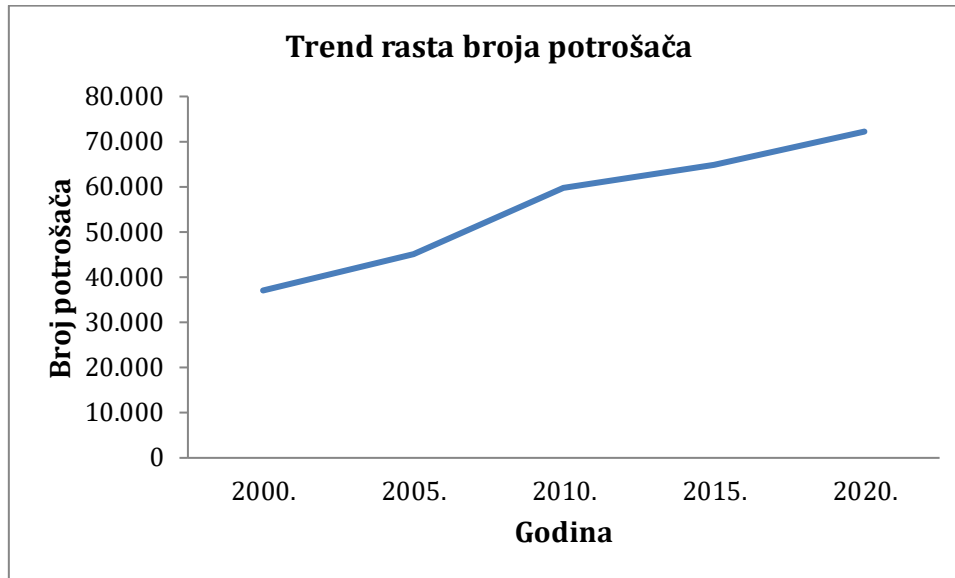
- izvorišta ukupnog kapaciteta 2.900 l/s
  - izvor Sv. Ivan (300 l/s),
  - izvor Bulaž (500 l/s)
  - izvor Gradole (1.100 l/s) i
  - akumulacijsko jezero Butoniga (1.000 l/s)
- cjevovod - ukupne dužine 2.409 km
- vodospreme na području poslovnih jedinica (PJ) – ukupno 90 objekta ukupne zapremine 69.948 m<sup>3</sup>
- vodospreme na području radnih jedinica (RJ) – ukupno 6 objekta ukupne zapremine 29.300 m<sup>3</sup>
- prekidne komore – ukupno 72 objekta zapremine 584 m<sup>3</sup>
- crpne stanice – ukupno 40 crpnih stanica bez posade i 4 crpne stanice s posadom
- potrošna mjesta – ukupno 71.640 potrošača
- proizvodnja u 2020. godini - približno 19 milijuna m<sup>3</sup>
- prodaja količine vode u 2020. godini - približno 15 milijuna m<sup>3</sup>
- isporuka vode Vodovodu Pula i Vodovodu Rižanski iz Kopra u 2020. godini - približno 4 milijuna m<sup>3</sup>
- broj radnika - 300 radnika.

Na vodoopskrbnom području Istarskog Vodovoda, kroz godine, bilježi se stalan rast broja potrošača zbog utjecaja kontinuiranog razvoja turizma, uslužnih djelatnosti i atraktivnosti područja za naseljavanje. Trend rasta broja potrošača kroz period od 2010. do 2020. godine iznosi oko 95% (Graf 1.).

Vodoopskrbni sustav - Vodovod Butoniga osnovan je 1985. godine u svrhu nadopune Istarskog Vodovoda Buzet i Vodovoda Pula iz umjetne akumulacije Butoniga, a ponajviše u ljetnom periodu (Slika 1.). Osnovano je i izgrađeno zajedničkim ulaganjem od strane Istarskog Vodovoda Buzet i Vodovoda Pula u omjerima u kojima će im se distribuirati voda iz sustava Butoniga. Izgradnja postrojenja za kondicioniranje vode Butoniga trajala je od 1995. do 2002. godine nakon čega Istarski Vodovod Buzet preuzeo upravljanje i održavanje postrojenja kao i distribucijski

sustav, te se može reći da Vodovod Butoniga čini dio sustavu Istarskog Vodovoda Buzet, iako pravno i vlasnički Vodovod Butoniga i dalje ima status samostalnog trgovačkog društva.

*Graf 1.: Prikaz povećanja broja potrošača - područje djelovanja Istraskog Vodovoda [8]*



### **3.3. Izvori i akumulacijsko jezero**

Izvori Istarskog Vodovoda Buzet čine tri izvora u dolini Mirne (Sv. Ivan, Bulaž i Gradole) i jedno akumulacijsko jezero (Butoniga). Sirova voda s izvora se prerađuje, a postupci uključuju sedimentaciju, filtriranje i dezinfekciju. Obrada vode iz akumulacijskog jezera Butoniga obuhvaća složenu preradu vode prvenstveno zbog potrebe uklanjanja mangana i željeza.

#### **3.3.1. Izvor Sv. Ivan**

Izvor Sv. Ivan smješten je u dnu doline rijeke Mirne, oko 200 m od korita rijeke na nadmorskoj visini od 49 m n.m., te preljevno područje iznosi oko 70 km<sup>2</sup> (Slika 3.). Izdašnost izvora je od 200 l/s do 2.000 l/s, ekstremni minimum 90 l/s, dok je temperatura vode iz izvora između 11 i 13 °C [23].



Iznad izvora nalazi se armirano-betonska zahvatna građevina iz koje se voda odvodi do uređaja za kondicioniranje vode budući analiza sirove vode na ovom izvoru dokazuje da je prije puštanja u vodoopskrbni sustav potrebna obrada. Sirova voda dalje se kondicionira u radnoj jedinici RJ Buzet za opskrbu sjevernog i centralnog dijela Istre.

Voda iz ovog sustava distribuira se potrošačima na području poslovnih jedinica PJ Buje, PJ Buzet, PJ Pazin, PJ Poreč i PJ Rovinj, a prednost je u tome što postoji mogućnost prebacivanja vode iz jednog u drugi sustav prema zimsko-ljetnom režimu što je uvelika prednost budući na navedenim područjima postoje bitne razlike u potrebama tijekom ljetnih i zimskim mjeseci s obzirom na pretežito ljetnu turističku sezonu područja.

Nerijetka je pojava vrlo visoke zamućenosti vode (ponekad i od 2000 NTU jedinica) koja nastaje kao posljedica površinskih dotoka s fliškog terena nakon jakih oborina i brzog protoka vode, te prijenosa sedimenata kroz krški vodonosnik.



Slika 3.: Izvor Sv. Ivan [6]

### **3.3.2. Izvor Gradole**

Desetak kilometara uzvodno od ušća rijeke Mirne, na lijevoj obali njene doline, nalazi se izvor Gradole, koji izbija iz krške kaverne i u prirodnom stanju ima oblik kao ovalno jezerce dimenzije 8\*16 m, te mu veličina sliva iznosi približno 113 km<sup>2</sup> (Slika 4.).

Maksimalna izdašnost izvora od 10.000 l/s bilježi se za vrijeme zimskog i proljetnog perioda, dok je minimalna izdašnost 1.000 l/s i ekstremni minimum 400 l/s [23].

Zahvat se nalazi u objektu s preljevnim pragom na 8 m n.m., te se voda odvodi do uređaja za kondicioniranje vode budući analiza sirove vode na ovom izvoru dokazuje da je prije puštanja u vodoopskrbni sustav potrebna obrada. Sirova voda se dalje kondicionira u radnoj jedinici RJ Gradole.

Voda iz ovog sustava distribuira se potrošačima na području poslovnih jedinica PJ Buje, PJ Poreč i PJ Rovinj, a prednost je u tome što postoji mogućnost prebacivanja vode iz jednog u drugi sustav prema zimsko-ljetnom režimu kao i u sustavu izvora Sv. Ivan.

Osim za distribucijsko područje cijele zapadne obale Istre u sustavu Istarskog Vodovoda ovaj izvor koristi se i za područje Vodovoda Pula kao i za područje Rižanskog Vodovoda u Koprju. Tako je, na primjer, u Istarskom Vodovodu Buzet 2020. godine proizvedeno približno 19 mil. m<sup>3</sup> vode, prodana količina vode iznosila je približno 15 mil. m<sup>3</sup>, dok je količina vode koja je isporučena Vodovodu Pula i Rižanskom Vodovodu iznosila približno 4 mil. m<sup>3</sup> [23].



Slika 4.: Izvor Gradole [6]

### **3.3.3. Izvor Bulaž**

Izvor Bulaž je krško uzlazno vrelo koje se nalazi na početku doline srednjeg toka Mirne, uz izvorište termalnih voda Istraske toplice. Izvor se koristi za nadopunjavanje izvora Sv. Ivan i izvora Gradole, te za nadopunjavanje akumulacijskog jezera Butoniga (Slika 5.).

Na površini, izvor ima oblik jezerca promjera 50 m, maksimalne je dubine od oko 25 m, te mu je dno ispod razine mora budući mu je točka preljeva na 17 m n.m. Površina sliva je približno 105 km<sup>2</sup>, te iako izvor nikad ne presušuje, njegova izdašnost je vrlo promjenjiva i vezana je uz intenzitet oborina, te je odnos minimalne i maksimalne izdašnosti izrazito velik. Najmanja zabilježena izdašnost iznosi 42 l/s, dok je maksimalna približno 38 m<sup>3</sup>/s [23].

Osim vodozahvatne građevine, na ovom izvoru nalazi se i privremeno sezonsko crpno postrojenje s ciljem poboljšanja vodoopskrbe tijekom sušnog razdoblja, te kako bi se dijelom nadopunio manjak kapaciteta sustava Sv. Ivan i Gradole u ljetnom periodu.



Slika 5.: Izvor Bulaž [6]

### **3.3.4. Akumulacijsko jezero Butoniga**

Akumulacijsko jezero Butoniga je umjetno jezero koje se nalazi u prostranoj dolini u slivu rijeke Mirne (Slika 6.). Funkcija akumulacije je višenamjenska, odnosno izgrađena je za vodoopskrbu, ali i kao obrana od štetnog djelovanja vode, te za

potrebe navodnjavanja. Osnovni vodeni tok i glavna pritoka je rječica Butoniga po kojoj je jezero i dobilo ime. Uz rječicu Butoniga postoje i dvije pritoke i to potoci Račice i Draguč, a preostala voda sakuplja se iz slivnog područja površine 73 km<sup>2</sup> koje se proteže između 40 i 500 m n.m. [23].

Kod ispunjenosti jezera do kote od 41 m n.m., odnosno do preljeva brane, ukupna površina akumulacije iznosi približno 2,5 km<sup>2</sup>, najveća dubina akumulacije je približno 16 m, dok volumen vode iznosi približno 20 milijuna m<sup>3</sup>.

U cilju osiguranja sigurnosti brane, te zbog kapaciteta prihvata poplavnih voda normalni nivo ispunjenosti jezera je do 38 m n.m., te je u toj prilici ukupan volumen vode približno 13 milijuna m<sup>3</sup>.

Voda iz jezera obrađuje se u postrojenju za kondicioniranje vode u radnoj jedinici RJ Butoniga, te se voda distribuira potrošačima na području poslovnih jedinica PJ Pazin, PJ Poreč i PJ Rovinj i potrošačima na distribucijskom području Vodovoda Pula.



Slika 6.: Akumulacijsko jezero i postrojenje za kondicioniranje vode Butoniga [6]

## 4. KONDICIONIRANJA VODE U POSTROJENJU BUTONIGA

Postrojenje za kondicioniranje vode Butoniga (PKV) nalazi se približno 0,5 km nizvodno od brane akumulacijskog jezera na površini veličine oko 80.000 m<sup>2</sup> [12].

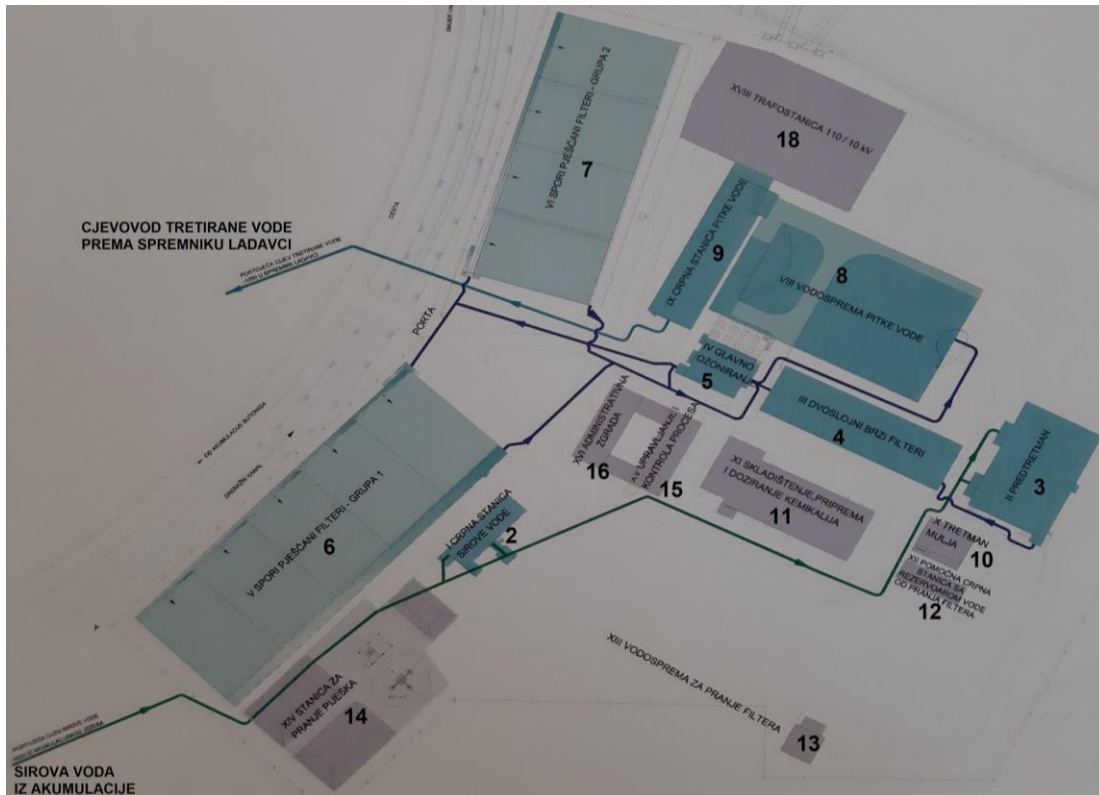
Postrojenje se sastoji od ukupno 18 građevina (Slika 7.):

1. Vodozahvat
2. Crpna stanica sirove vode
3. Predtretman
4. Dvoslojni brzi filter
5. Glavno ozoniranje
6. Spori pješčani filtri – grupa 1
7. Spori pješčani filtri – grupa 2
8. Vodosprema pitke vode
9. Crpna stanica pitke vode
10. Tretman mulja
11. Skladištenje, priprema i doziranje kemikalija
12. Pomoćna crpna stanica s rezervoarom vode od pranja filtera
13. Rezervoar vode za pranje filtera
14. Stanica za pranje pijeska
15. Upravljanje i kontrola procesa
16. Administrativna zgrada
17. Prometnica i vanjske površine
18. Trafostanica 110/10kV.

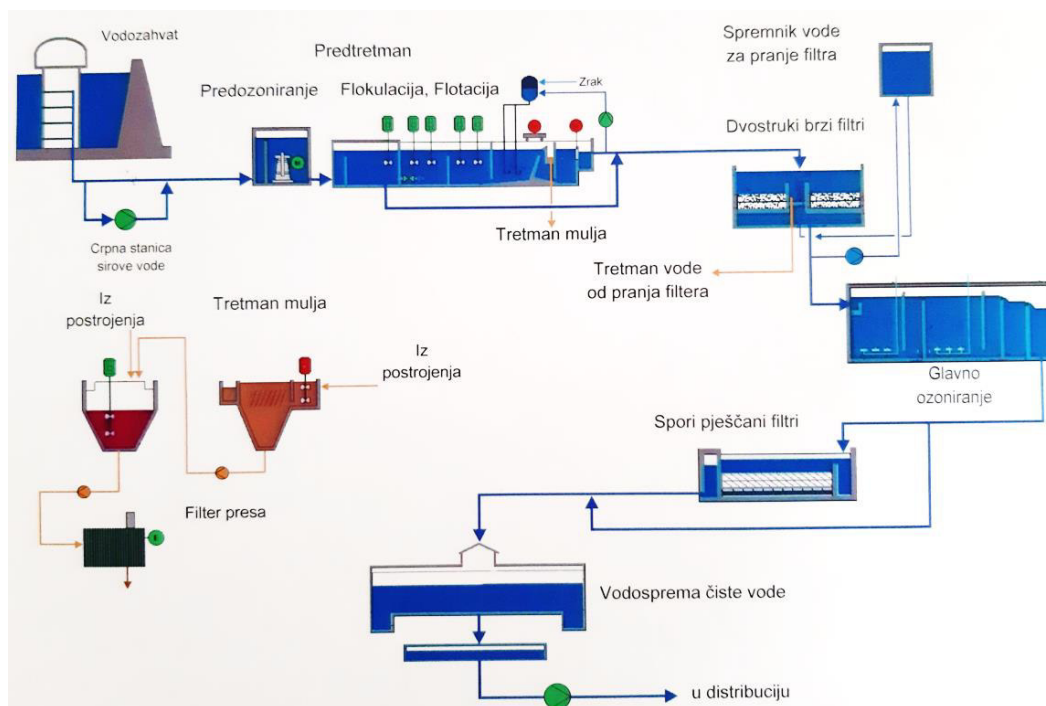
Postrojenje za kondicioniranje vode Butoniga u prvoj fazi projektirano je za preradu vode od 1.000 l/s odnosno 3.600 m<sup>3</sup>/h (Slika 8.). Dijelovi procesa projektirani su za konačni kapacitet od 2.000 l/s koji se predviđa drugom fazom izgradnje. Procesne faze postrojenja namijenjene su za 24 satni puni kapacitet, uz fleksibilni rad promjenom kapaciteta. Sustav obuhvaća sve potrebne procese za optimalno kondicioniranje sirove vode iz akumulacijskog jezera, odnosno iz površinskih izvora i osigurana je konstantna odgovarajuća kvaliteta vode, neovisno o tome što kvaliteta sirove vode u akumulacijskom jezeru varira s obzirom na godišnje doba [12].

Postrojenje obrađuje sirovu vodu iz akumulacijskog jezera Butoniga i iz izvora Bulaž.

Temeljem analiza i rezultata parametara kvalitete sirove vode utvrđena je potreba za kondicioniranjem sirove vode za postizanje ispravne vode za ljudsku potrošnju.



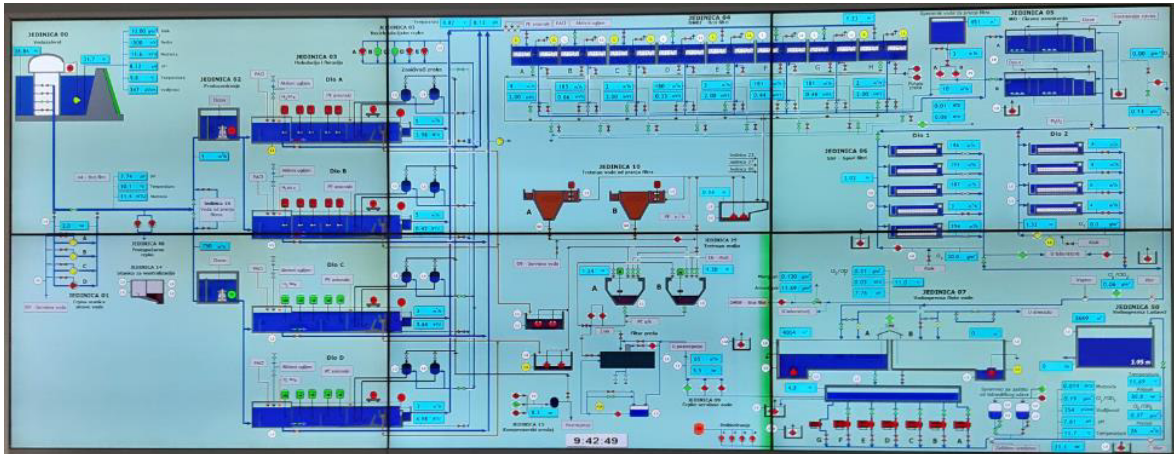
Slika 7.: Dispozicija građevina postrojenja za kondicioniranje vode Butoniga [12]



Slika 8.: Tehnološka shema postrojenja za kondicioniranje vode Butoniga [12]

## 4.1. Primarni proces obrade vode

Primarni proces obrade vode obuhvaća jedinicu za zahvat sirove vode, proces predozoniranja, koagulacije i flokulacije, flotacije, brze filtracije, glavnog ozoniranja, sporih pješčanih filtera, dezinfekcije, završne korekcije pH vrijednosti, te pumpanje vode u tlačni vod i dokloriranje (Slika 9.).



Slika 9.: Isječak centralnog nadzora postrojenja Butoniga, (Foto: Tamara Mošnja, 2021.)

Postrojenje je projektirano za automatski rad, kontroliran je visoko sofisticiranim logičkim kontrolnim sistemom (PLC). Gotovo svaki tehnološki proces ima vlastiti lokalni PLC koji je spojen na glavni PLC u kontrolnoj sobi (Slika 9.).

### 4.1.1. Zahvat sirove vode

Vodozahvati su građevine kojima se zahvaća voda iz izvorišta, pa se tako razlikuju vodozahvati atmosferskih, površinskih i podzemnih izvorišta. Vodozahvati površinskih izvora dijele se na vodozahvate na rijekama, na jezerima (prirodne i umjetne akumulacije i kanali) i na morima. [19] Vodozahvat je potrebno smjestiti na poziciju gdje je moguće crpiti najkvalitetniju vodu.

Kod zahvaćanja većih količina voda iz jezera (prirodnih i akumulacijskih), najčešće se zahvatna građevina izvodi kao vodozahvatni toranj s ulaznim (usisnim) oknima za

vodu na nekoliko različitih visina, kako bi se u svako godišnje doba, odnosno za svaku visinu vode mogla osigurati najkvalitetnija voda (Slika 11.).

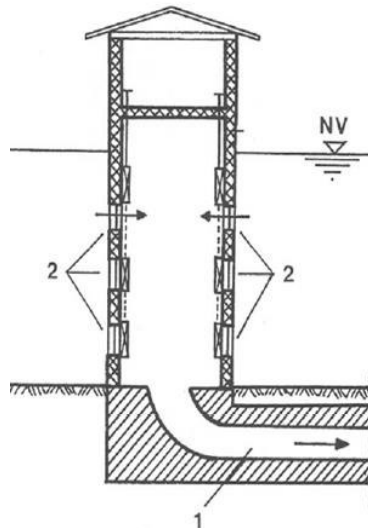
Sirova voda iz akumulacijskog jezera zahvaća se na usisnom tornju (Slika 10. i 12.). Na usisnom tornju nalaze se usisni otvori na četiri nivoa jezera, odnosno na kotama 29,0; 31,7; 34,3 i 37,0 m n.m.



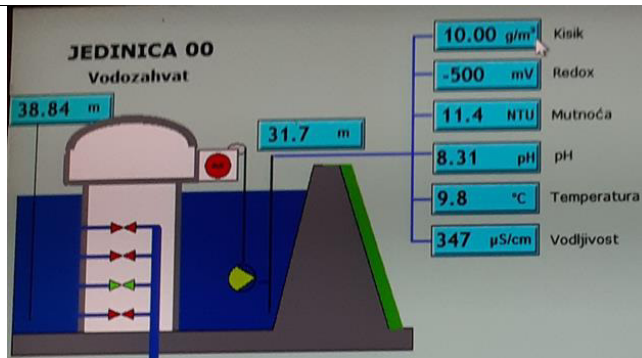
Slika 10.: Usisni toranj, akumulacija Butoniga [12]

Voda se na postrojenje dovodi slobodnim padom u slučaju kad je ispunjenost jezera iznad visine od 33 m n.m., odnosno pumpama kad je ispunjenost jezera ispod te razine. Izbor usisnog nivoa određuje se iz samog postrojenja, a ovisi o vodostaju i izmjerenim vrijednostima u sirovoj vodi kao što su koncentracija otopljenog kisika, mutnoća, provodljivost, pH vrijednost i temperature na različitim nivoima usisa. Odabir razine zahvaćanja sirove vode vezan je za stanje ispunjenosti akumulacijskog jezera i odvija se automatski, a ručno se izvodi ovisno o parametrima sirove vode.

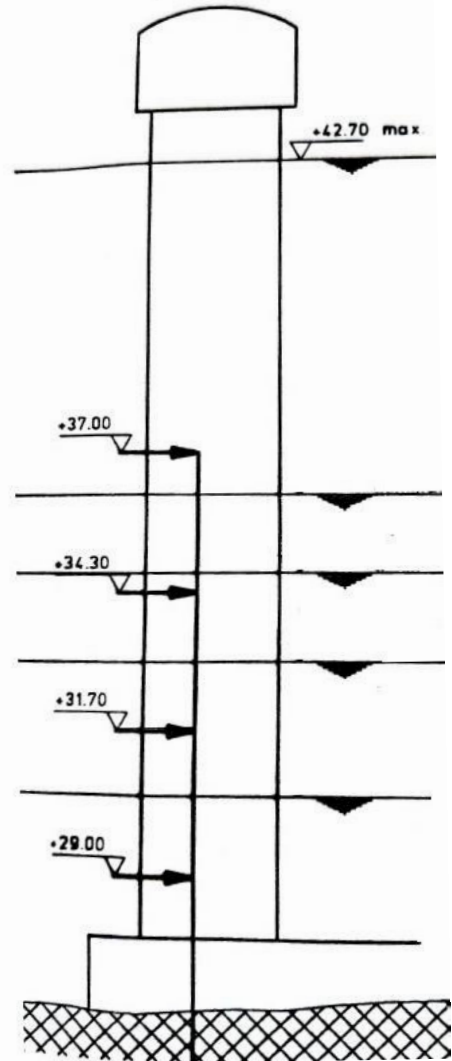




Slika 11.: Shema usisnog tornja [19]  
 1 – usisni cjevovod, 2 – ulazna okna s rešetkama



Slika 13.: Isječak centralnog nadzora PKV Butoniga,  
 Usisni toranj s izmjerenim parametrima,  
 (Foto: Tamara Mošnja, 2021.)



Slika 12.: Shema usisnog tornja  
 akumulacija Butoniga [12]

U primjeru iz siječnja 2021. godine izmjereni parametri su iznosili [12]:

- otopljeni kisik: 10,00 g/m<sup>3</sup>
- mutnoća: 11,4 NTU
- pH vrijednost: 8,31 pH
- temperatura vode 9,8 °C
- vodljivost: 347 µS/cm.

Akumulacijsko jezero bilo je visine ispunjenosti od 38,84 m n.m., a sirova voda zahvaćala se na usisnom otvoru na nivou na 31,7 m n.m. što je vidljivo i oznakom, brojem i bojom otvorenog ventila (Slika 13.).

U izvanrednim situacijama, kada je u akumulacijskom jezeru nedovoljna količina vode ili voda ne zadovoljava uvjete kvalitete, na postrojenje Butoniga (na liniju predtretmana) dovodi se voda iz izvora Bulaž radi čega je 2012. godine izgrađen cjevovod, te je i rekonstruirana crpna stanica. Međutim, postrojenje Butoniga nije tehnološki opremljeno i organizirano za kondicioniranje izvorske vode već za kondicioniranje površinske vode zbog čega se izvor Bulaž koristi isključivo u izvanrednim situacijama.

#### **4.1.2. Predozoniranje**

Predoziranje se izvodi radi oksidacije mangana, sumporovodika, željeza te inaktivacije algi i mikroflokulacija. Proces odstranjivanja mangana i željeza temelji se na njihovoj oksidaciji i pretvaranju u nerastvoren oblik koji se od vode odvaja procesom filtracije. Odstranjivanje ozonom najčešće se primjenjuje prilikom kondicioniranja sirove vode dobivene iz površinskih akumulacija.

U pogonu za kondicioniranje vode Butoniga, neposredno prije predozoniranja, ukupni tok sirove vode dijeli se na dvije grane svaka kapaciteta 1.875 m<sup>3</sup>/h. Sustav predozoniranja sastoji se od komora izvedenih kao kvadratni bazeni, a svaki je podijeljen na kontaktni i reakcijski dio. U procesu predozoniranja sirova voda se zasićuje kisikom, pomoću turbinskog uronjenog mješala, uvodi se smjesa kisika i ozona, a doziranje ozona ovisi o mutnoći sirove vode i koncentraciji mangana. Vrijeme zadržavanja u kontaktnim komorama je 0,4 do 1,0 minuta, dok u reakcijskim 2,2 do 6,0 minuta. Za vrijeme reakcije, iz vode izlazi višak ozona koji preostaje iznad površine vode, te se on odvodi u uređaj namijenjen termalnoj razgradnji.

#### **4.1.3. Koagulacija i flokulacija (zgrušavanje i pahuljičenje)**

Koagulacija i flokulacija su postupci od iznimne važnosti u kondicioniranju vode u kojima se vrši primjena kemikalija.

Koloidi, odnosno raspršene nerastvorene čestice veličine od 1 nm do 1  $\mu\text{m}$ , uzrokuju mutnoću vode i u procesu kondicioniranja vode potrebno ih je ukloniti iz sirove vode. Većina prirodnih sirovih voda sadrži nerastvorene koloidne čestice s negativnim nabojem zbog čega se međusobno odbijaju i imaju velik stupanj raspršenosti. Obojeni materijali i tvari koje utječu na miris i okus vode, neorganske i organske čestice iz otpadnih voda, čestice erodiranog zamljanog materijala, planktonski organizmi, virusi, alge i bakterije čine sve nerastvorene koloidne čestice koje se mogu odstraniti iz vode.

Procesom koagulacije se primjenom kemikalija, nerastvorenim sitnim česticama iz sirove vode neutralizira naboj, te se na taj način one spajaju u krupne čestice. Proces koji se nadovezuje na koagulaciju je proces flokulacije kojim se postiže intenzivan dodir destabiliziranih čestica, odnosno spajanje u flokule kao krupne čestice koje se kasnije mogu brže izdvojiti te se dobiva bistra voda [2].

Na proces koagulacije utječe kvaliteta sirove vode, količina i karakter suspendiranih koloida, potrošnja kisika, količina soli, pH vrijednost i temperatura vode zbog čega je od važnosti analiza osnovnih parametara sirove vode. Kao koagulanti najčešće se koriste soli aluminijske i željezne, kalcijev oksid (vapno) i natrijev karbonat (soda). Koagulanti se dodaju u obliku otopine koje se pripremaju u uređajima za pripremu, te se doziraju dozatorima. Postupak doziranja je automatiziran tako da se dodaje optimalna doza koagulanata ovisno o mutnoći vode i protoku [19].

Flokulacija (pahuljičenje) je proces stvaranja flokula (pahuljica) spajanjem koloida koji su prethodno destabilizirani procesom koagulacije (zgrušavanja). Flokulacija započinje odmah nakon miješanja vode i koagulanata i odvija se relativno sporo kako bi se dobile dovoljno velike flokule. Odvija se u posebnim bazenima – flokulatorima. Flokule se mogu dodatno povećati dodavanjem flokulanata kao sredstva za pahuljičenje, a količina i vrsta flokulanta određuje se ovisno o rezultatima ispitivanja vode. U flokulatorima se voda lagano i ravnomjerno miješa što pomaže stvaranju flokula i spriječava taloženje flokula u flokulatoru.

Postupkom koagulacije i flokulacije nerastvorene koloidne čestice se pretvaraju u oblike koji se iz vode mogu odstraniti daljnjim postupcima taleženjem i filtracijom, flotacijom i filtracijom, te direktnom filtracijom.

U pogonu za kondicioniranje vode Butoniga postupkom koagulacije i flokulacije utjeće se na smanjenje mutnoće mineralnog porijekla, organske tvari prirodnog i sintetičkog porijekla, mikroorganizama, toksičnih metala, željeza i mangana.

Nakon postupka predozoniranja svaki tok vode dodatno se dijeli na dva dodatna paralelna toka i postupak se nastavlja u četiri paralelne linije kapaciteta oko 938 m<sup>3</sup>/h. Svaka procesna linija sastoji se od jedne komore za koagulaciju i dvije komore za flokulaciju. Koagulacijske komore opremljene su uređajima za brzo miješanje dok su flokulacijske komore opremljene uređajima za sporo miješanje (Slika 14. i 15.). Voda se u koagulacijskim komorama zadržava 2,4 do 5 minuta dok se u flokulacijskim komorama voda zadržava 2,2 do 4,6 minuta [12].

Koagulacija i flokulacija vrše se uzastopnim fazama:

- prva faza - na ulazu u koagulacijsku komoru uvode se kemikalije
- druga faza – brzim miješanjem u koagulacijskoj komori vrši se destabilizacija čestica
- treća faza – sporim miješanjem u flokulacijskoj komori vrši se spajanje čestica.

#### **4.1.4. Flotacija**

Proces flotacije je suprotan procesu taloženja, odnosno procesom flotacije se dovodi do isplivavanja materijala na površinu. Kako bi se ostvario proces isplivavanja, odnosno flotacije vodi se dodaju mjehurići zraka ili kemikalije kao sredstva za flotaciju (Slika 15.).

U pogonu za kondicioniranje vode Butoniga je nakon postupka koagulacije i flokulacije potrebno ukloniti nastale flokule što se izvodi procesom flotacije s otopljenim zrakom (Slika 14.). Ovim se postupkom u vodu, nakon procesa koagulacije

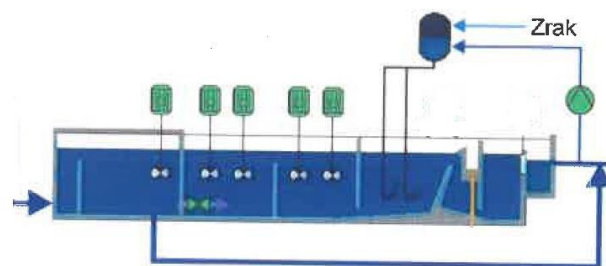
i flokulacije, uvode mjehurići zraka kao sredstvo za flotaciju koji se vežu na površinu flokula koje postaju lakše od vode i isplivavaju na površinu nakon čega se uklanjaju.

Linija za flotaciju sadrži četiri paralelna bazena. Bazeni su opremljeni sustavom sapnica kroz koje se uvodi voda zasićena zrakom. Oko 10 do 15% izlazne vode iz flotacije se ponovno odvodi u proces pomoću pet recirkulacijskih pumpi, preko osam saturatora u kojima se miješa s otopljenim zrakom, a tako dobivena smjesa vode i zraka uvodi se na početak flotacijske komore pod pritiskom od 5 bara [12].

Na površini flotacijskih bazena tako nastaje plivajući, krutoplinoviti mulj koji se uklanja zgrtačima (Slika 14.). Zgrtači se stavljaju u pogon u određenim vremenskim intervalima. Nakon što se ukloni mulj, on se dalje gravitacijski odvodi do spremnika, nakon čega se obrađuje u postupku obrade mulja.



Slika 14.: Koagulacija, flokulacija i flotacija, PKV Butoniga [12]



Slika 15.: Shematski prikaz – koagulacija, flokulacija i flotacija [12]

#### 4.1.5. Brza filtracija

Filtracija je postupak propuštanja plina ili tekućine kroz polupropusnu membranu kako bi se iz zraka ili tekućine izdvojile čvrste čestice.

Proces filtracije, kao dio procesa u sustavu kondicioniranja vode, podrazumijeva uklanjanje koloidnih čestica koje su preostale u vodi nakon procesa taloženja ili

flokulacije (za čestice koje se nisu uspjele spojiti u flokule) i izvodi se prolaskom vode kroz slojeve granuliranih materijala.

U pogonu za kondicioniranje vode Butoniga proces filtracije izvodi se dvoslojnim brzim gravitacijskim filterima (Slika 16. - 19.), a provodi se za odstranjivanje manjih flokula koje nisu odstranjene u procesu flokulacije, te za odstranjivanje zaostalih suspendiranih i organskih tvari. Uklanjanje mutnoće vode u procesu kondicioniranja u ovom postrojenju izvodi se uglavnom na brzim filterima.

U sustavu filtracije nalazi se osam filterskih polja kapaciteta 450 m<sup>3</sup>/h. Dvoslojni filterski sloj čini donji filtracijski sloj debljine 60 cm od kvarcnog pijeska granulacije 0,3 – 0,8 mm i gornji filtracijski sloj debljine 80 cm od Aquafilta granulacije 0,8 – 1,5 mm [12]. Projektirana brzina filtracije iznosi oko 8 do 9 m/h. Proces filtracije je automatiziran i filterima se upravlja na način da se osigurava konstantni nivo filtracije.

U cilju povećanja učinkovitosti filtracije, na ulazu u filter, osigurana je i mogućnost doziranja kemikalija.

Proces pranja filtera je automatiziran i izvodi se prvo zrakom, a nakon toga i vodom.

Potreba za pranjem kontrolira se s četiri neovisna parametra:

- ukupnim protokom vode kroz pojedino polje,
- mutnoćom izlazne vode,
- otvorom izlaznog ventila i
- padom pritiska kroz filtracijski sloj.

Između pranja filtera provodi se filtracija u ciklusu od 1 do 2 dana, a voda od pranja odvodi se u bazenu za prihvatanje nakon čega se obrađuje u procesu obrade vode od pranja filtera.



Slika 16.: Brzi filter, PKV Butoniga  
(Foto: Tamara Mošnja, 2021.)



Slika 17.: Brzi filter, PKV Butoniga  
(Foto: Tamara Mošnja, 2021.)



Slika 18.: Mjerenje parametara vode na  
izlazu iz brzih filtera, PKV Butoniga  
(Foto: Tamara Mošnja, 2021.)



Slika 19.: Cjevovod - odvod vode iz brzih filtera,  
PKV Butoniga (Foto: Tamara Mošnja, 2021.)

#### **4.1.6. Glavno ozoniranje**

Osnovna funkcija procesa glavnog ozoniranja je poboljšanje okusa i mirisa, dezinfekcija vode i oksidacija zaostale otopljene tvari na način da se ona pretvara u biorazgradiv oblik, te se naknadno uklanja na sporim filterima. Ozon potpuno oksidira organsku tvar u vodi i sprječava rast nižih oblika života u vodi, vrlo brzo

prelazi u kisik oslobađanjem atoma kisika koji daljnje djeluje kao oksidant na protoplazmu organizama u vodi i na taj način ih uništava. Proces proizvodnje ozona je vrlo skup, izvodi se strujanjem suhog i čistog zraka između dvije elektrode gdje razlika potencijala iznosi 10.000 i 20.000 V [13]. Zbog nepostojanja tog oblika ( $O_3$ ), ozon brzo prelazi u kisik ( $O_2$ ), te se pri tome oslobađa atom kisika koji djeluje kao jaki oksidans na protoplazmu mikroorganizama koji se nalaze u vodi i na taj način ih uništava. Iako je sam proces veoma skup, ozon je pogodan za dezinfekciju pitkih voda, jer nema neugodan miris niti otrovnog djelovanja [19].



Slika 20.: Proizvodnja ozona, PKV Butoniga (Foto: Tamara Mošnja, 2021.)

U postrojenju za kondicioniranje vode Butoniga, glavno ozoniranje je organizirano u dvije linije, a svaka linija obuhvaća četiri komore, s time da su prva i treća kontaktne difuzorske komore, a druga i četvrta su reakcijske. U kontaktnim komorama se u vodu unosi smjesa zraka i ozona kroz porozne keramičke difuzore, te započinje reakcija, a vrijeme zadržavanja kreće se od 3,5 do 9 minuta. Reakcija se nastavlja u reakcijskim komorama, a vrijeme zadržavanja kreće se od 3,5 do 9 minuta. Količina ozona iznosi od 0,5 do 2,5 mg/l. Komore (spremnici) su potpuno zatvorene kako bi se onemogućilo istjecanje ozona. Ventilacijski sustav povezan je sa jedinicom za destrukciju ozona u izlaznom plinu [12].



#### **4.1.7. Spori pješčani filteri**

U pogonu za kondicioniranje vode Butoniga završna filtracija i uklanjanje organske tvari, prethodno oksidirane dodatkom ozona, izvodi se sporim pješčanim filterima (Slika 21. i 22.) koji se sastoje od dvije grupe filterskih polja površine 1.000 m<sup>2</sup>:

- prva grupa sporih filtera s pet polja i
- druga grupa s četiri polja.



Slika 21.: Spori filter, PKV Butoniga (Foto: Tamara Mošnja, 2021.)



Slika 22.: Spori filter, PKV Butoniga (Foto: Tamara Mošnja, 2021.)

Filtracijski sloj izveden je od kvarcnog pijeska granulacije 0,3 do 1,25 mm u sloju od 80 cm koji je položen na nosivi sloj veće granulacije u debljini od 20 cm. Brzina filtracije iznosi od 0,1 do 0,4 m/h. Stabilnost vode u distribucijskom sustavu osigurava se na način da se sav biorazgradivi organski ugljik uklanja djelovanjem zajednica mikroorganizama koje rastu na površini sporih filtera.

Iako prosječna izlazna mutnoća vode na sporim filterima iznosi oko 0,1 NTU utjecaj sporih filtera na parametar mutnoće vode je vrlo mali, a uklanjanje mutnoće odvija se uglavnom na brzim filterima.

U cilju uklanjanja suvišnog rezidualnog ozona prije dotoka vode u spore filtere omogućeno je doziranje vodikovog peroksida.

#### ***4.1.8. Dezinfekcija***

Procesom filtracije se znatno smanjuje količina mikroorganizama u vodi međutim oni se potpuno uklanjaju procesom dezinfekcije. Dezinfekcijom se ne uništavaju svi živi mikroorganizmi (kao sterilizacijom) već se uništavaju infektivni mikroorganizmi (intestinalne i fekalne vrste bakterija). Dezinfekcija vode je obavezna i najčešće zadnja faza u kondicioniranju vode, a ponegdje i jedina [19].

U pogonu za kondicioniranje vode Butoniga filtrirana čista voda, se prije ispusta u vodospremu, dezinficira dodatkom plinovitog klora do koncentracije 0,5 mg/l. Ovakav postupak dezinfekcije se najčešće primjenjuje u suvremenoj praksi kondicioniranja vode.

#### ***4.1.9. Završna korekcija pH vrijednosti***

U pogonu za kondicioniranje vode Butoniga, kako bi se osigurala stabilnost vode u distribucijskom sustavu, te kako bi se postigla ravnoteža pH vrijednosti vode u završnom procesu kondicioniranja vode, provodi se proces podešavanja pH vrijednosti dodavanjem zasićene vapnene vode. Zasićena vapnena voda dobiva se iz jedinice za pripremu i doziranje. Ovaj postupak izvodi se iznimno, u slučaju neodgovarajućeg parametra pH vrijednosti.

#### ***4.1.10. Pumpanje u tlačni vod***

Nakon cjelokupnog procesa kondicioniranja vode, voda se pomoću 6 visokotlačnih pumpi kapaciteta 200 l/s (Slika 23.) pumpa u tlačni vod u vodospremu Ladavci koja

se nalazi na visini od 330 m n.m. od koje se gravitacijskim magistralnim cjevovodom opskrbljuju potrošači.



Slika 23.: Pumpanje vode u tlačni vod, PKV Butoniga  
(Foto: Tamara Mošnja, 2021.)

#### **4.1.11. Dokloriranje**

Zbog duljeg zadržavanja vode u vodospremi, u postupku isparavanja dolazi do gubitka klora, zbog čega se voda nakon visokotlačnih pumpi na ulazu u tlačni cjevovod doklorira do koncentracije od 0,5 mg/l [12].

#### **4.2. Pomoćni proces obrade vode**

Pomoćni proces obrade vode obuhvaća stanicu za čišćenje pijeska sa sporih pješčanih filtera, jedinicu za obradu vode od pranja filtera, jedinicu za obradu mulja i jedinicu za neutralizaciju otpadnih voda od kemikalija.

#### ***4.2.1. Stanica za čišćenje pijeska sa sporih pješčanih filtera***

Usljed rada sporih pješčanih filtera dolazi do njihovog začepljenja i pada protoka, te ih je potrebno očistiti, odnosno ukloniti površinski sloj pijeska u debljini od približno 3 cm. Uklonjeni pijesak čisti se u stanici za pranje pijeska na uređaju sa hidrociklonom kapaciteta 2,5 t/h. Tako očišćeni pijesak se skladišti, te se ponovno koristi za nadopunjavanje filtera, a voda od pranja pijeska obrađuje se na postrojenju za obradu vode od pranja filtera [12].

#### ***4.2.2. Obrada vode od pranja filtera***

Na uređaju za obradu vode od pranja filtera obrađuje se voda od pranja brzih filtera i voda iz stanice za čišćenje pijeska sa sporih pješčanih filtera, flokulacijom s polielektrolitom i sedimentacijom u lameliranim taložnicama. Uređaj je kapaciteta 225 m<sup>3</sup>/h. Mulj koji je nastao dalje se obrađuje na postrojenju za obradu mulja, a voda se ispušta u recipijent [12].

#### ***4.2.3. Obrada mulja***

Mulj nastaje u različitim procesima kondicioniranja vode, u flotaciji, u procesu obrade vode od pranja filtera, u procesu pranja pijeska sporih filtera, te u procesu pripreme zasićene vapnene vode. Tako dobivene količine mulja sakuplja se u spremnike za prihvatanje mulja kapaciteta oko 2\*50 m<sup>3</sup>, te se obrađuje na uređaju za obradu mulja. Proces obrade mulja obuhvaća kondicioniranje mulja dodatkom polielektrolita i prešanje na filter preši gdje se dobiva završni produkt stabiliziranog i inertnog mulja koji sadrži približno 60 do 70% vlage, te se smije odlagati na deponiju (Slika 24.) [12].



Slika 24.: Obraðeni prešani mulj, PKV Butoniga, (Foto: Tamara Mošnja, 2021.)

#### **4.2.4. Neutralizacija otpadnih voda od kemikalija**

Na uređaju za neutralizaciju, obrađuju se otpadne vode iz objekta za skladištenje, pripremu i doziranje kemikalija, te otpadne vode iz laboratorija. Uređaj za neutralizaciju sastavljen je od bazena za redukciju i bazena za neutralizaciju.

Bazen za redukciju klora koristi se samo u slučaju incidenta, volumena je približno 20 m<sup>3</sup>, opremljen je pumpom za miješanje, te se klorne otopine obrađuju natrij tiosulfatom [12].

Bazen za neutralizaciju koristi se za daljnju obradu vode iz bazena za redukciju i obradu vode iz objekta kemikalija, volumena je približno 39 m<sup>3</sup>, opremljen je sustavom za doziranje kiseline ili lužine i pumpom za miješanje. Prilikom doziranja kiseline ili lužine provodi se stalna automatska kontrola pH vrijednosti. U trenutku dostizanja odgovarajuće pH vrijednosti vode voda iz bazena odvodi se u recipijent [12].

### **4.3. Količina i parametri sirove i proizvedene vode u postrojenju Butoniga**

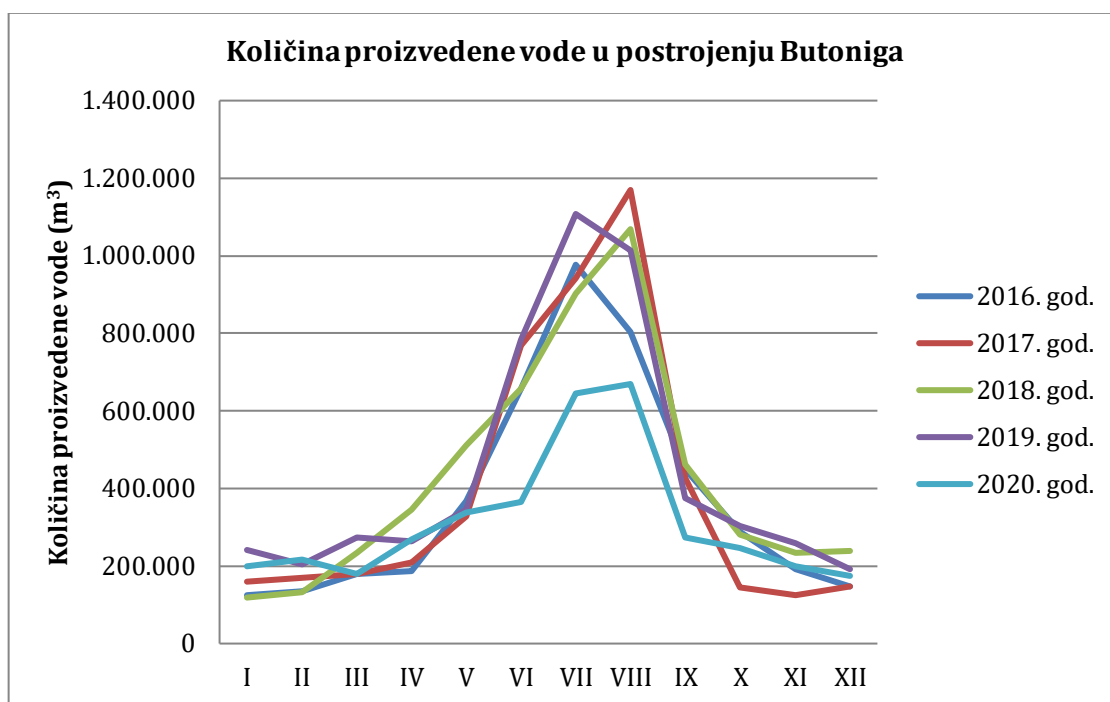
Postrojenje Butoniga projektirano je za optimalno kondicioniranje površinske vode i za osiguravanje zahtjevane količine vode za distribuciju na dijelu područja djelovanja Istarskog Vodovoda.

### 4.3.1. Količine proizvedene vode

Istarski Vodovod, djeluje na području razvijenog turizma u ljetnim mjesecima, zbog čega postoje velike oscilacije u potrebi za proizvodnjom vode. Kroz godine, bilježe se znatna povećanja u proizvodnji količine vode od mjeseca lipnja do rujna.

Oscilacije u proizvodnji, odnosno povećana proizvodnja vode u ljetnim mjesecima, provodi se na svim postrojenjima Istarskog Vodovoda pa tako i na postrojenju Butoniga (Graf 2.).

Graf 2.: Prikaz količine proizvedene vode u postrojenju Butoniga [5, 6, 7, 8, 9]



Za primjer, na postrojenju Butoniga, u studenom 2017. godine proizvedeno je 124.710 m<sup>3</sup> vode, dok je u kolovozu iste godine proizvedeno 1.169.600 m<sup>3</sup> što predstavlja povećanje veće od 935% u količini proizvedene vode u ljetnom periodu. Kroz godine, postrojenje Butoniga biljaži stalni rast proizvodnje vode, tako je od 2016. do 2020. godine zabilježen rast veći od 856.000 m<sup>3</sup> u ukupnoj proizvodnji vode na godišnjoj razini. U 2020. godini, zabilježen je veliki pad proizvodnje vode u ljetnom periodu, kao posljedica smanjenja broja turista i ugostiteljskih djelatnosti zbog utjecaja pandemije koronavirusa. Tako je za primjer, u kolovozu 2020. godine

proizvedeno približno 463.000 m<sup>3</sup> manje vode nego u istom mjesecu prethodne godine (Tablica 2.).

Tablica 2.: Količina proizvedene vode u postrojenju Butoniga [5, 6, 7, 8, 9]

PROIZVEDENO VODE U POSTROJENJU BUTONIGA (m <sup>3</sup> )					
Mjesec	2016. god.	2017. god.	2018. god.	2019. god.	2020. god.
I	124.740	159.130	118.520	242.280	198.639
II	134.720	168.880	133.580	205.230	216.548
III	178.230	180.520	233.450	273.180	179.566
IV	187.090	209.140	344.070	263.310	269.608
V	366.760	328.370	512.290	344.710	337.408
VI	656.400	768.120	656.670	783.176	365.376
VII	976.800	942.940	902.500	1.107.733	644.271
VIII	803.440	1.169.600	1.068.550	1.013.888	669.248
IX	448.190	427.730	461.750	374.707	272.609
X	288.120	144.960	281.730	303.290	246.632
XI	191.920	124.710	234.474	257.792	198.132
XII	148.350	147.610	239.476	191.791	174.428
<b>Ukupno:</b>	<b>4.504.760</b>	<b>4.771.710</b>	<b>5.187.060</b>	<b>5.361.087</b>	<b>3.772.465</b>

Udio postrojenja Butoniga u ukupnoj proizvodnji vode u sustavu Istarskog vodovoda varira od 20 do 24% (Tablica 3.).

Pad proizvodnje vode, uvjetovan pandemijom koronavirusa, nije zabilježen samo na postrojenju Butoniga, već i na svim ostalim postrojenjima za kondicioniranje vode u nadležnosti Istarskog Vodovoda, te je u 2020. godini sveukupno proizvedeno približno 3.430.000 m<sup>3</sup> vode manje u odnosu na prethodnu godinu (Tablica 3.).

Tablica 3.: Proizvodnja Istarskog Vodovoda i udio postrojenja Butoniga [5, 6, 7, 8, 9]

PROIZVEDENO VODE (m <sup>3</sup> )					
Mjesec	2016. god.	2017. god.	2018. god.	2019. god.	2020. god.
Istarski Vodovod na svim postrojenjima:	19.408.653	21.330.955	21.444.580	22.194.838	18.761.746
Postrojenje Butoniga:	4.504.760	4.771.710	5.187.060	5.361.087	3.772.465
Udio postrojenja Butoniga u ukupnoj proizvodnji Istarskog Vodovoda:	23%	22%	24%	24%	20%

Iako postrojenje Butoniga trenutno funkcionira u kapacitetu od 50%, te će izgradnjom druge faze projekta kapacitet iznositi 2.000 l/s već je sad uz kapacitet od 1.000 l/s limitirano uvjetima i procesima koji karakteriziraju sliv i samu akumulaciji. Ukupni dotoci u akumulaciji su značajno manji od planiranih, a kakvoća sirove vode u akumulaciji je nepovoljnija zbog nepovoljnog temperaturnog režima zbog plitke geometrije, povećan je unos hranjivih tvari te je povećan stupanj trofije i prisutane su nepovoljne koncentracije mangana, amonijaka i fosfora.

Na planirane količine vode utječe i sama dubina akumulacijskog jezera koje je formirano kao plitka akumulacija i razina vode se održava na nižim kotama, te uslijed taloženja nanosa na dnu srednja dubina akumulacije iznosi svega približno 5 m [16]. Problem osiguranja dostatne količine vode bio bi značajno manji da je akumulacijski prostor znatno veći od postojećeg, jer je akumulacijsko jezero Butoniga za vodoopskrbne potrebe vrlo plitka akumulacija. Nepovoljan je i utjecaj termalne stratifikacije, te se u ljetnom periodu granica između toplog i hladnog sloja vode spušta do dubine od 8 m ispod površine što ostavlja znatno mali volumen hladnijeg sloja koji je pogodan za vodoopskrbu i to samo u središnjem, najdubljem dijelu akumulacije [16].

#### ***4.3.2. Parametri sirove i proizvedene vode***

Parametri sirove i kondicionirane vode prate se u laboratoriju koji čini sastavni dio postrojenja te od strane Hrvatskog zavoda za javno zdravstvo.

U Tablici 4. prikazane su vrijednosti pojedinih parametara zdravstvene ispravnosti sirove, neprerađene vode iz jezera Butoniga na lokaciji zahvata, nakon procesa kondicioniranja u postrojenju Butoniga, te su prikazane i maksimalno dopuštene koncentracije pojedinih parametara.



*Tablica 4.: Vrijednosti pojedinih parametara zdravstvene ispravnosti sirove vode i vode nakon procesa kondicioniranja u postrojenju Butoniga [5, 6, 7, 8, 9]*

Parametar	Jedinica mjere	M.D.K.	Raspon rezultata u 2020. godini	
			Sirova neprerađena voda	Voda nakon kondicioniranja
Rezidualni klor	mg/l	0,5		<0,005-0,48
Temperatura vode	C	25	5,4-22,8	5,9-23,3
Mutnoća	NTU	4 (1)	0,49-71	0,04-0,14
pH vrijednost		6,5-9,5	7,38-8,31	7,37-8,14
Utrošak KMnO <sub>4</sub>	mgO <sub>2</sub> /l	5	1,33-3,61	0,31-1,78
Kloridi	mg/l	250	6,06-7,06	6,79-11,85
Amonijak	mgNH <sub>4</sub> /l	0,5	<0,005-0,159	<0,005-0,152
Mangan	mg/l	0,05	<0,005-1,204	<0,005-0,042
Nitriti	mgNO <sub>2</sub> /l	50	0,42-1,16	0,58-2,01
Aluminij	mg/l	0,2	<0,01-0,073	<0,01-0,078
Željezo	mg/l	0,2	0,032-0,659	<0,005-0,101
Fluoridi	mg/l	1,5	0,08-0,12	0,07-0,11
Sulfati	mg/l	250	12,56-18,78	12,5-19,89
Natrij	mg/l	200	5,87-7,14	5,11-8,69
Kalij	mg/l	12	1,22-2,16	1-2,77
Br. kolonija, 36 °C	broj/1ml	100	3-300	0-3
Br. kolonija, 22 °C	broj/1ml	100	2-500	0-2
Escherichia Coli	broj/100 ml	0	0-517	0
Enterokok	broj/100 ml	0	0-200	0

Podaci prikazuju vrijednosti iz 2020. godine. Pojedini parametri sirove neprerađene vode kao što su mutnoća, koncentracija mangana i željeza te određeni mikrobiološki pokazatelji nisu zadovoljili maksimalno dopuštene koncentracije, odnosno maksimalno dopuštene količine.

Mutnoća sirove, neprerađene vode iz akumulacijskog jezera iznosila je od 0,49 do 71 NTU jedinica, dok je nakon procesa kondicioniranja ista iznosila od 0,04 do 0,14 NTU jedinica, što je znatno ispod propisane maksimalno dopuštene količine od 1 NTU jedinica.

Izmjerena je povećana koncentracija mangana u sirovoj, neprerađenoj vodi iz akumulacijskog jezera koja je iznosila od 0,005 do 1,204 mg/l, dok je nakon procesa

kondicioniranja ista iznosila od 0,05 do 0,042 NTU jedinica, te je zadovoljena propisana maksimalno dopuštena koncentracija od 0,05 ml/l.

Izmjerena je povećana koncentracija željeza u sirovoj, neprerađenoj vodi iz akumulacijskog jezera koja je iznosila 0,032 do 0,659 mg/l, dok je nakon procesa kondicioniranja ista iznosila od 0,005 do 0,101 mg/l, te je zadovoljena propisana maksimalno dopuštena koncentracija od 0,2 ml/l.

U postrojenju za kondicioniranje vode, mangan i željezo se iz sirove vode, prvenstveno uklanjaju u procesu oksidacije ozonom.

Izmjeren je povećan broj kolonija na 36 °C i 22 °C koji se u sirovoj neprerađenoj vodi kretao od 3 do 300 (broj/1ml) za 36 °C, odnosno 2 do 500 (broj/1ml) za 22 °C. Nakon procesa kondicioniranja vode isti su iznosili 0 do 3 (broj/1ml) za 36 °C, odnosno 0 do 2 (broj/1ml) za 22 °C što je zadovoljilo maksimalnu dopuštenu količinu od 100 (broj/1ml).

U sirovoj neprerađenoj vodi izmjerena je prisutnost mikroorganizama *Escherichia coli* (*E. Coli*) u količini do 500 (broj/100ml) i *Enterokoki* u količini do 200 (broj/100ml) koji su nakon procesa kondicioniranja vode svedeni na 0 (broj/100ml), što je i maksimalno dopuštena količina.

Ostali parametri kao što je i primjer pH vrijednosti, već i u sirovoj vodi zadovoljavaju maksimalno dopuštene koncentracije. Mjera kiselosti ili lužnatosti vode, odnosno pH vrijednost bitan je parametar već i kod sirove vode. Kod vode za ljudsku potrošnju pH vrijednost treba biti neutralna, odnosno u rasponu od 6,5 do 9,5. Voda s pH vrijednosti manjom od 7 je kisela i može nagrizati metale vodovodnih instalacija, što može uzrokovati oštećenje na instalaciji i propuštanja vode.

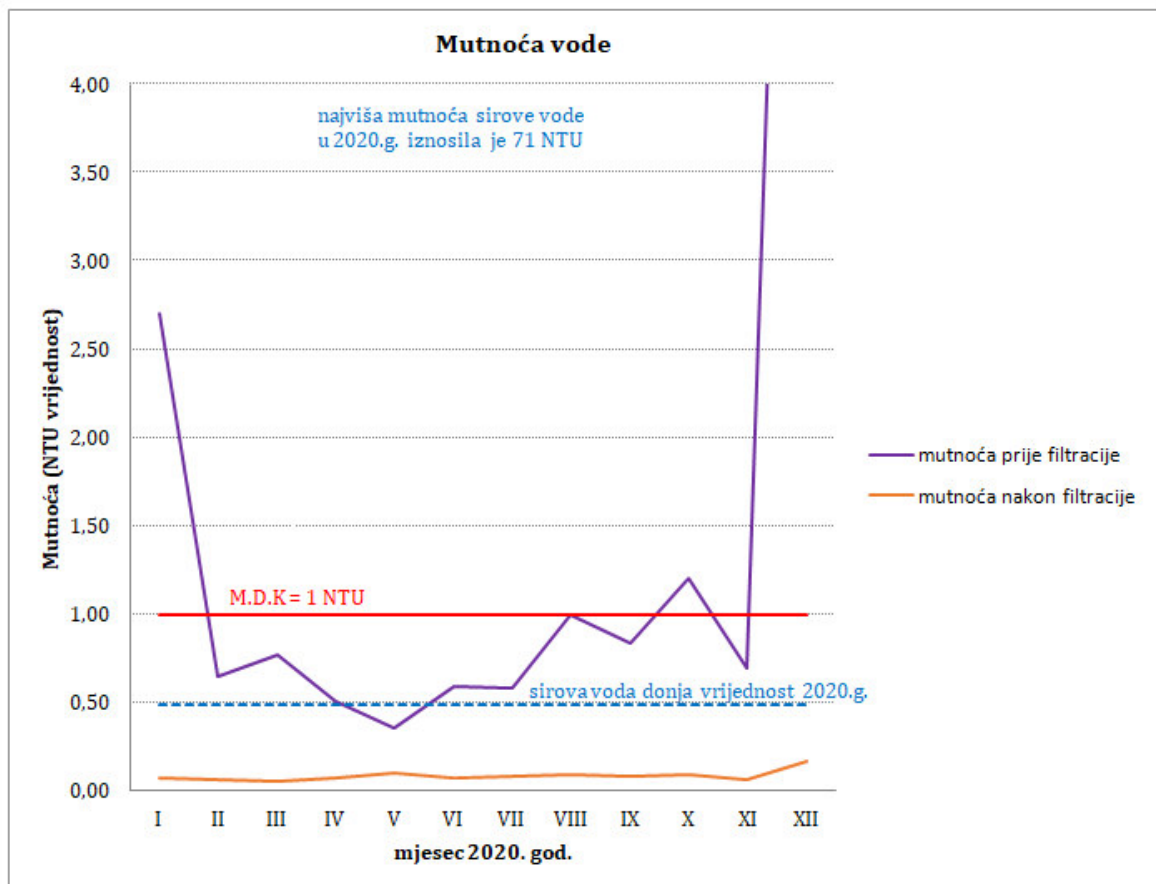
#### ***4.3.3. Pojedini parametri vode prije i nakon procesa filtracije na brzim pješčanim filterima***

U nastavku su prikazane vrijednosti pojedinih parametara vode nakon predtretmana (predozoniranja, koagulacije, flokulacije i flotacije), odnosno prije faze filtriranja, te

nakon faze filtriranja na brzim dvoslojnim pješčanim filterima u postrojenju za kondicioniranje vode Butoniga u razdoblju od siječnja do prosinca 2020. godine. Vrijednosti parametara prikazane su u odnosu na maksimalno dopuštene koncentracije, odnosno maksimalno dopuštene količine te u odnosu na maksimalne i minimalne vrijednosti parametara sirove vode na razini 2020. godine.

Na Grafu 3. Prikazan je parametar mutnoće vode, izražen u NTU jedinicama, prije faze brze filtracije i nakon faze brze filtracije, te maksimalno dopuštena količina i maksimalne i minimalne vrijednosti sirove vode na razini 2020. godine.

*Graf 3.: Mutnoća vode (NTU vrijednosti) prije i nakon filtracije na brzim pješčanim filterima u postrojenju Butoniga [8, 12, 15]*

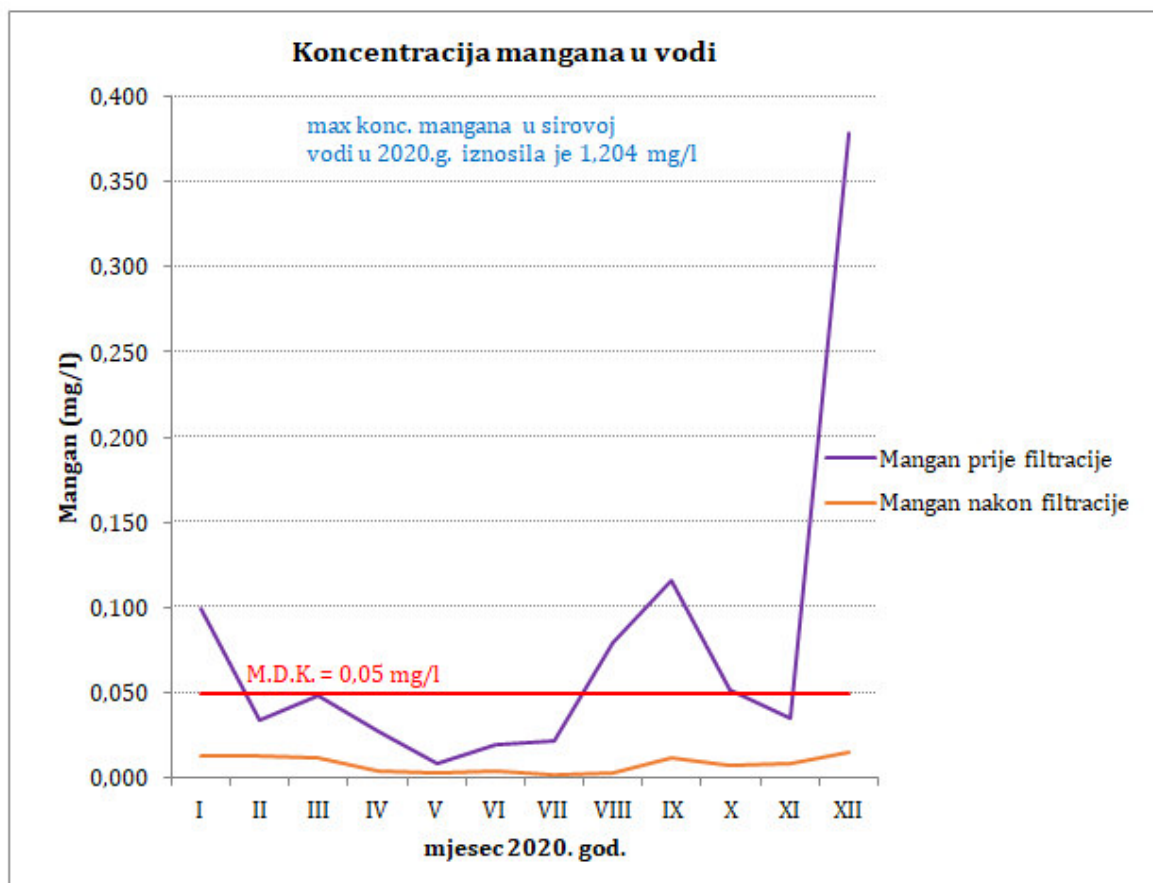


Mutnoća sirove vode kretala se u rasponu od 0,49 do 71 NTU, dok maksimalno dopuštena količina za površinske vode iznosi 1 NTU. Mutnoća vode prije procesa filtracije kretala se u rasponu od 0,35 do 10,44 NTU što su i dalje većinom bile

vrijednosti iznad maksimalno dopuštene količine. Nakon procesa filtracije, vrijednosti su iznosile od 0,06 do 0,17 što je bitno ispod maksimalno dopuštene količine od 1 NTU. Utjecaj filtracije na brzim pješčanim filterima na parametar mutnoće vode je vrlo velik. Za primjer u prosincu nakon predtretmana, odnosno prije obrade vode na brzim pješčanim filterima mutnoća vode iznosila je 10,44 NTU, dok je nakon procesa filtracije ona iznosila 0,17 NTU. Prilikom većih kiša dolazi do zamućenja vode u akumulaciji.

Na Grafu 4. Prikazan je parametar koncentracije mangana (mg/l), prije faze filtriranja i nakon faze filtriranja, te maksimalno dopuštene koncentracije i maksimalne i minimalne koncentracije u sirovoj vodi na razini 2020. godine.

*Graf 4.: Koncentracije mangana (mg/l) prije i nakon filtracije na brzim pješčanim filterima u postrojenju Butoniga [8, 12, 15]*



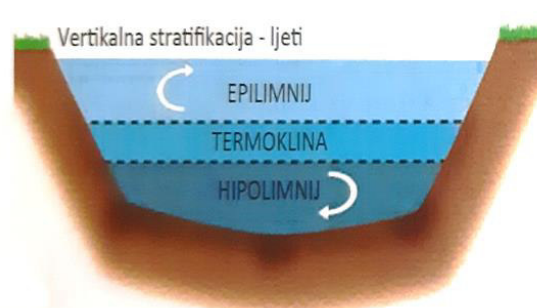
Koncentracija mangana u sirovoj vodi iznosila je od 0,005 do 1,204 mg/l, dok maksimalno dopuštena koncentracija iznosi 0,05 mg/l. Koncentracija mangana u vodi nakon procesa predtretmana, a prije procesa filtracije kretala se u rasponu od 0,009 do 0,379 mg/l što su i dalje većinom bile vrijednosti iznad maksimalno dopuštene koncentracije. Nakon procesa filtracije vrijednosti su iznosile od 0,002 do 0,015 što je ispod maksimalno dopuštene koncentracije od 0,05 mg/l mangana. Utjecaj filtracije na brzim pješčanim filterima na parametar koncentracije mangana u vodi bitan je jer prije procesa filtracije parametri vode nisu zadovoljavali maksimalno dopuštene koncentracije. Za primjer, u mjesecu prosincu nakon predtretmana, odnosno prije obrade vode na brzim pješčanim filterima koncentracija mangana u vodi iznosila je 0,379 mg/l, dok je nakon procesa filtracije ona iznosila 0,015 mg/l.

#### 4.3.4. Utjecaj termičke stratifikacije

Osim povećane koncentracije mangana i željeza, u sirovoj neprerađenoj vodi iz akumulacijskog jezera Butoniga prisutan je i problem povećanja temperature same vode što utječe i na pojavu promjenjivih kvalitativnih parametara na pojedinim profilima. Jedan od glavnih razloga promjene kvalitete po profilima je termička stratifikacija (Slika 25. i 26.) kao prirodni fenomen raslojavanja vode različitih gustoća zbog različite temperature. Isto je od posebnog značaja u ljetnom periodu kada direktno utječe na kvalitetu vode u jezeru (Slika 26.).



Slika 25.: Termička stratifikacija, Miješanje slojeva, (jesen, zima i proljeće), [12]



Slika 26.: Termička stratifikacija Vertikalna stratifikacija (ljetno), [12]

Kvaliteta sirove vode u akumulacijskom jezeru Butoniga varira ovisno o godišnjem dobu i dubini akumulacije. Akumulacija je termički stratificirana od travnja do

listopada, što utječe na fizikalno-kemijske karakteristike vode. Dubina zahvaćanja vode iz akumulacijskog jezera odabire se ovisno o dubini i kvalite sirove vode.

Jezero je od travnja do listopada vertikalno termalno stratificirano (Slika 26.) [12]:

- Epilimnij – gornji sloj u kojem prevladavaju visoke temperature, sloj bogat kisikom.
- Metalimnij – prijelazni sloj iz područja viših u područje niže temperature.
- Hipolimnij – donji sloj u kojem prevladavaju niže temperature, sloj siromašan kisikom (manjak kisika) i povećanih koncentracija mangana i željeza.

Manjak kisika u hipolimniju pospješuje redukcijske procese, te dolazi do remobilizacije fosfora iz sedimenta i oslobađanja amonijevog dušika što je sve i indikator pojave procesa eutrofikacije, odnosno povećanje fosfora utječe na bioprodukciju koja povećava koncentraciju biomase u jezeru i čijim se raspadom ponovno oslobađaju hranjive tvari [16].

Raspon temperature vode u jezeru varira od 3,5 do 28 °C na površini, te pri dnu od 3 do 22,4 °C. U ljetnom periodu temperatura gornjeg sloja vode u jezeru doseže temperaturu i iznad 28 °C, što je bitno više od maksimalno dopuštene temperature od 25 °C.

Iako površinski slojevi vode jezera imaju najbolje kvalitativne karakteristike, te se kvaliteta vode prema dnu znatno smanjuje, prvenstveno zbog smanjenja zasićenja kisikom, zbog potrebe zadovoljavanja maksimalno dopuštene temperature vode ispod 25 °C, u ljetnim mjesecima crpljenje sirove vode iz jezera odvija se bliže dnu, odnosno na visinama crpljenja 34,3 i 37,0 m n.m gdje je niža temperatura vode. Međutim, kako je karakteristično da u ljetnom periodu dolazi do naglog pada razine otopljenog kisika prema dnu akumulacije, u uvjetima smanjene razine ili potpunog nedostatka kisika raste koncentracija amonijaka, spojeva željeza i mangana. Značajno raste i sadržaj fosfora, koji je vrlo važan faktor u eutrofikaciji akumulacije.

U procesu kondicioniranja vode u postrojenju ne postoji dio procesa kojim bi se mogla smanjiti temperatura vode, već se ista u samom procesu kondicioniranja i

povećava. Temperatura vode se u ljetnom periodu u postupku kondicioniranja povećava prilikom filtracije na vanjskim sporim filterima i to približno i za 2 °C, zbog male brzine filtracije a velike površine filtera (cca 1.000 m<sup>2</sup>). Kako bi se barem malo utjecalo na smanjanje povećanja temperature same vode u procesu kondicioniranja, razmišlja se o natkrivanju sporih filtera solarnim panelima, te bi se na taj način utjecalo na smanjenje povećanja temperature vode, a samim time osigurala i određena količina energije preko solarnih panela za druge potrebe u postrojenju.

Iako je samo postrojenje za kondicioniranje vode vrlo dobro tehnološki strukturirano, opremljeno i sami procesi su sustavno centralno automatizirani, količine sirove vode iz jezera neće biti dovoljne za budući, planirani puni kapacitet rada od 2.000 l/s nakon izgradnje druge faze postrojenja. Moguća rješenja mogla bi biti u pravcu provođenja mjera kako bi se ograničio donos nanosa i nutrijenata u akumulaciju, te u pravcu povećanja kapaciteta same akumulacije povećanjem visine brane, te izgradnjom predakumulacija u kojima bi se mogao odstranjivati i nanos [16].

## 5. FILTRACIJA, GRAVITACIJSKI FILTERI I PRIMJER PRORAČUNA

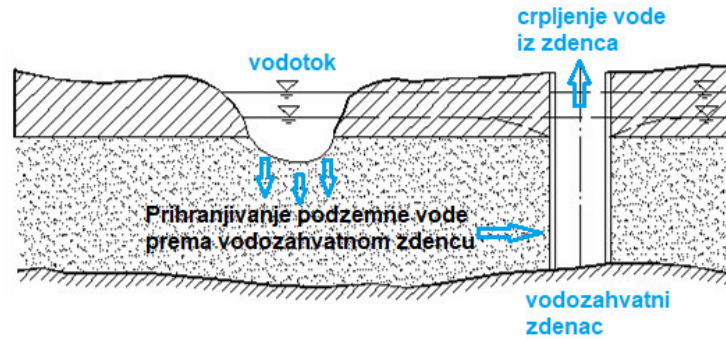
Filtracija je jedan od procesa koji se provodi u procesu kondicioniranja vode i podrazumijeva uklanjanje čestica, odnosno krutih tvari iz vode prilikom prolaza kroz porozni filterski medij. Utječe na zadržavanje suspendirane tvari, smanjenje broja organizama i bakterija, a može se utjecati i na pojedina kemijska svojstva vode.

Budući da površinske vode najčešće sadrže alge, sedimente, gline i druge organske ili anorganske čestice, većina postrojenja za kondicioniranje površinskih voda u svom postupku obuhvaćaju i postupak filtracije, te se uklanjanjem čestica utječe i na poboljšanje bistrine vode. Površinske vode također sadrže i mikroorganizme koji mogu uzrokovati razne bolesti, a filtracija je gotovo uvijek potrebna zajedno s kemijskom dezinfekcijom kako bi se osiguralo da voda bude bez ovih patogena.

Osim uklanjanja koloidnih čestica, primjenom odgovarajućih uvjeta kao što su sastav i karakteristike filterske ispune, osiguranje određene odgovarajuće brzine filtracije, dnevna svjetlost i dr., procesom filtracije moguće je provesti i proces biološke oksidacije amonijaka, apsorpciju teških metala i otopljenih organskih materijala, te zadržavanje bakterija i virusa.

Postoje filtracije u kontroliranim i prirodnim uvjetima. Filtracija u prirodnim uvjetima moguća je u slučajevima kad postoje odgovarajući prirodni hidrogeološki uvjeti kao što su za primjer koeficijent filtracije i koeficijent provodljivosti [1]. Uz obale rijeka, kanala, bazena i sličnih akumulacija izvode se infiltracijski vodozahvati pomoću kojih se zahvaća voda (Slika 27.). Prirodni medij (hidrogeološki medij) predstavlja fazu u kondicioniranju infiltrirane vode, te se poboljšava kakvoća vode, uvelike se smanjuje, a dijelom čak i uklanjaju suspendirane čestice.

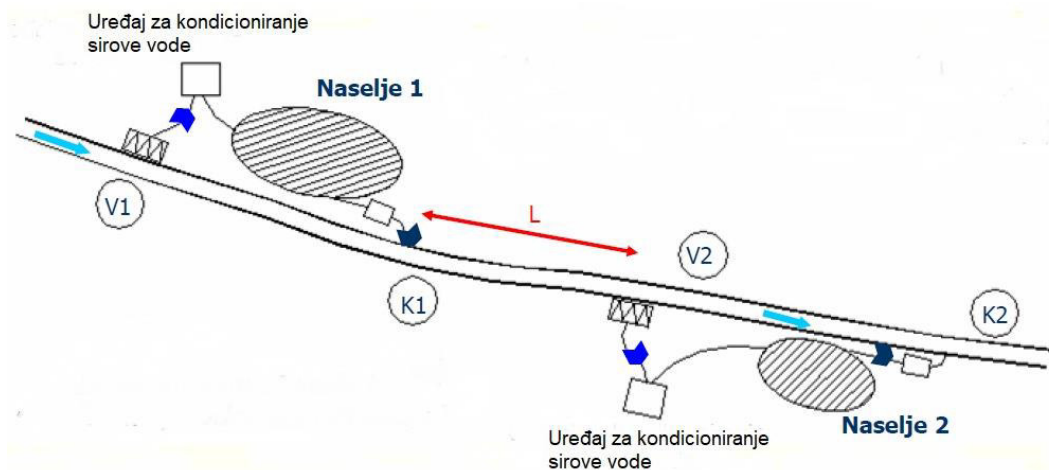




Slika 27.: Indirektan zahvat vode iz površinskog vodotoka [13]

Na Slici 27. prikazano je indirektno crpljenje vode iz vodotoka preko vodozahvatnog zdenca te je voda prethodno filtrirana kroz prirodni medij.

Prilikom direktnog zahvata vode iz vodotoka, ovisno o lokaciji naselja, te ispuštanju pročišćenih otpadnih voda u vodotok, potrebno je odrediti odnosno poštivati odgovarajuće udaljenosti autopurifikacije vode te na temelju istog odrediti pozicije crpljenja vode za potrebe opskrbe odnosno prethodnog kondicioniranja vode (Slika 28.).



Slika 28.: Direktno crpljenje vode iz površinskog vodotoka [13]

V1, V2 – zahvat vode za vodoopskrbu, K1, K2 – ispuštanje pročišćene otpadne vode,  
 L – duljina autopurifikacije

Filtriranje u kontroliranim uvjetima izvodi se na sporim filterima, brzim gravitacijskim filterima, filterima pod pritiskom i mikrofilterima. Kod navedenih

filterskih sustava postupak je isti, odnosno sustav se sastoji od bazena (od betona ili čelika), perforirane podloge na kojoj se nalazi filterski sloj, dovodnih i odvodnih cijevi, zatvarača i opreme za upravljanje. Na dnu perforirane podloge nalazi se drenažni sustav kroz koji se zahvaća filtrirana voda i sustavom cjevovoda se ona odvodi u sljedeću fazu kondicioniranja vode. Drenažni sustav koristi se i za pranje filtera s obrnutim strujanjem vode (odozdo prema gore).

Kod filtracije s pješčanim slojem izdvajanje čestica iz vode provodi se filtracijom po površini i dubinskom filtracijom, odnosno filtracijom po dubini filterskog sloja. U procesu površinske filtracije uklanjaju se krupnije čestice koje su veće od pora poroznog filterskog sloja, te se zadržavaju po površini filtera. Čestice manje od pora filterskog sloja zadržavaju se, odnosno nakupljaju se unutar cijele dubine filterskog sloja što utječe na smanjenje poroznosti filterskog sloja odnosno dolazi do začepjenja pora što dovodi do povećanja otpora protjecanja vode kroz filterski sloj.

Filtracija je složen proces i obuhvaća [19]:

- mehaničko djelovanje - odstranjivanje čestica većih od pora filterskog sloja,
- adhezijsko djelovanje - prijanjanje čestica na površini filterskog sloja,
- adsorpcijsko djelovanje - pripijanje (na površini filterskog materijala) čestica koje s vodom prodiru u poroznu sredinu sloja,
- taložno djelovanje - gravitacijsko izdvajanje čestica koje s vodom prodiru u unutrašnjost filterskog sloja,
- kemijsko djelovanje - rastavljanje muteži na sitnije dijelove ili njeno pretvaranje u netopivu masu koja se zatim uklanja iz vode,
- biološko djelovanje - stvaranje biološke opne ili prevlake (filma, membrane) od mikroorganizama.

Oblici filtracije razlikuju se po smjeru i brzini kretanja vode, svojstvima filterskih slojeva, brzini procesa filtracije i načinu na koji se ostvaruje sila filtracije.

Prema načinu kretanja vode kroz filterski sloj postoje gravitacijski, tlačni i vakuumski filteri. Tako kod gravitacijskih filtera (sporih i brzih) do filtriranja dolazi zbog djelovanja sile gravitacije zbog visinske razlike dovoda i odvoda vode na filter, dok

kod tlačnih filtera, izvedenih kao zatvoreni spremnici cilindričnog oblika, u koje se voda dovodi pod tlakom (pumpama) te do filtriranja dolazi zbog razlike u tlakovima na dovodu i odvodu. Vakuumski filteri su filteri kod kojih na odvodu djeluje podtlak. Kod većih postrojenja za kondicioniranje vode najčešće se koriste gravitacijski filteri.

Osnovni parametri filtriranja jesu [19]:

**a) Brzina filtriranja ( $v$ )**, koja ne predstavlja stvarnu brzinu vode koja prolazi porama filterskog sloja već predstavlja vertikalnu brzinu stupca vode koja prolazi kroz filterski sloj. Brzina filtriranja računa se prema sljedećem izrazu:

$$v = Q / A$$

gdje je:

$v$  – brzina filtriranja (m/h)

$Q$  – dotok na filter (m<sup>3</sup>/h)

$A$  – površina filtera (m<sup>2</sup>).

Na temelju brzine filtriranja filteri se dijele na spore i brze filtere. Brzina filtriranja na sporim filterima iznosi od 0,1 do 0,4 m/h što približno iznosi od 2 do 10 m/d, dok brzina filtriranja na brzim filterima iznosi u prosjeku 5 m/h.

**b) Dopušteni hidraulički gubici na filteru**, ograničeni su razlikom razine vode u filteru i u spremniku čiste vode. Gubici uključuju gubitke zbog filtriranja vode, te linijske i lokalne gubitke zbog tečenja vode kroz vodovodne cijevi kojima se filtrirana voda odvodi u spremnik čiste vode.

Ovi gubici ovise o osobinama filtarskog materijala (debljini sloja, poroznosti, dimenzijama i postotku udjela frakcija), o brzini filtriranja, viskoznosti vode i gravitacijskom djelovanju.

Što su zrna koja čine pješčani medij manjeg promjera manji su i otvori pora kroz koje voda može proći, te manje pore povećavaju učinkovitost filtriranja, iako sa smanjenjem otvora pora rastu hidraulički gubici.

Osobine filtarskog materijala kvantificiraju se na temelju dva parametra:

- efektivni promjer  $D_{ef}$ , identificira se kao  $D_{10}$  a predstavlja veličinu otvora sita u mm koja omogućuje prolaz 10% uzorka pijeska, odnosno 10% zrna ima manji promjer:

$$D_{ef} = D_{10}$$

- koeficijentom jednolikosti (koeficijentom uniformnosti)  $U$ , predstavlja veličinu otvora sita u mm koja omogućuje prolaz 60% uzorka pijeska, odnosno 60% zrna ima manji promjer. Što je koeficijent jednolikosti veći nejednolikost uzorka pijeska je veća.

$$U = D_{60} / D_{10}$$

Kao efektivni promjer predložena je veličina  $D_{10}$  (Hazen), jer je ustanovljeno da za homogenu ispunu filtera otpor vode ostaje nepromijenjen do  $U = 5,0$  ako  $D_{10}$  ostaje nepromijenjen, odnosno  $D_{60}/D_{10} < 5,0$ .

Efektivni promjer i koeficijent jednolikosti (koeficijentom uniformnosti) jesu osnovni parametri koji određuju stupanj filtrabilnosti materijala. Materijali se prosijavaju radi postizanja jednolikosti.

Navedene veličine očitavaju se iz granulometrijske krivulje filtarskog materijala koja predstavlja maseni udio postotka čestica po pojedinoj veličini zrna. Prikazuje se koliki postotak masenog udjela ostaje na pojedinom situ, odnosno koja veličina zrna je dominantna u analiziranom uzorku. Učinkovitost procesa filtracije na kondicioniranje vode ovisi o odabiru granulacije pijeska kao filterske ispune.

**c) Optimalno vrijeme rada filtera između dva pranja** (ciklus filtriranja) određuje se iz dva uvjeta:

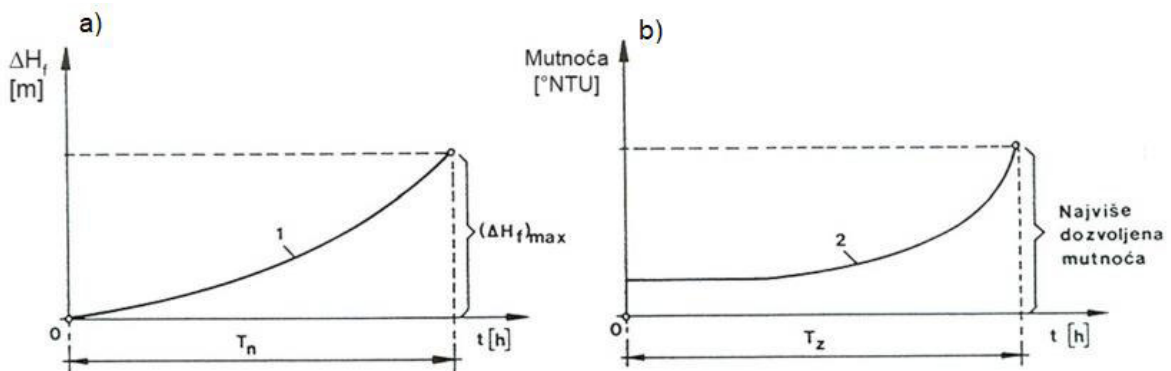
- odnosi se na onečišćenje filterskog sloja zbog čega postupno dolazi do smanjenja poroznosti (začepljenja pora) i do povećanja hidrauličkih gubitaka, odnosno do kolmatacije koja se događa progresivno od površine filtera. Prema Grafu 5., kroz vrijeme  $T_n$  (h) povećavaju se hidraulički gubici do dopuštene vrijednosti  $(\Delta H_f)_{max}$ .

- odnosi se na smanjenje kvalitete vode zbog onečišćenja filterskog sloja što dovodi do povećanja brzine u porama, te do djelomičnog iznošenja čestica

suspendiranih čestica koje su se prethodno zadržale u porama filterskog sloja. Prema Grafu 5., kroz vrijeme  $T_z$  (h), vrijeme između dva pranja filtera, tijekom kojeg se treba osigurati zahtjevana kvaliteta vode (mutnoće vode izražene u NTU jedinicama).

Graf 5.: Optimalno vrijeme rada filtera [19]

a) prema kriteriju dopuštenih hidrauličkih gubitaka; b) prema kriteriju tražene kvalitete vode  
 1 – promjena hidrauličkih gubitaka, 2 – promjena mutnoće vode



Kako bi se osigurao najekonomičniji rad filtera, potrebno je definirati optimalni ciklus filtriranja (vrijeme između dva pranja filtera) prema kriteriju dostizanja dopuštenih hidrauličkih gubitaka i prema kriteriju dostizanja granične vrijednosti mutnoće vode na način da se ta dva vremena približno izjednače:

$$T_{optimalno} = T_n = T_z$$

Prilikom definiranja optimalnog ciklusa filtriranja svakako je potrebno voditi računa da vrijeme za dostizanje granične vrijednosti hidrauličkog gubitka ( $T_n$ ) bude kraće od vremena dostizanja granične vrijednosti mutnoće vode ( $T_z$ ) iz razloga što  $T_z$  predstavlja vrijeme proboja filtera.

## 5.1. Osnovne značajke sporih filtera

Filtriranje vode u sporim pješčanim filterima je biološki proces filtriranja vode kroz gornju biološku opnu na površini pijeska s mikroorganizmima, zbog čega se još naziva i površinsko filtriranje.

Karakteristike filtera se mogu definirati kroz nekoliko parametara [1]:

- brzina filtriranja iznosi od 0,1 do 0,4 m/h što približno iznosi od 2 do 10 m/d. Za vrlo zagađene vode uspostavlja se brzina od 2 m/d, dok se za relativno čiste vode uspostavlja brzina od 10 m/d.
- Zbog navedenih brzina te ostvarivanja taloženja krupnijih čestica i spajanja sitnijih prostor iznad filterske ispune treba zadovoljiti zadržavanje vode od 3 do 15 sati.
- Čišćenje filtera izvodi se ovisno o mutnoći vode, svakih 30 do 60 dana, uklanjanjem gornjeg sloja pijeska u debljini od 1 do 2 cm (ručno ili mehanizacijom).
- Filteri imaju sposobnost obrade vode male zamućenosti, te za kvalitetan rad zahtjevaju mutnoću vode između 2 i 5 NTU jedinica.
- Efektivni promjer filterskog sloja ( $D_{ef}$ ) iznosi 0,25 do 0,35 mm
- Koeficijent jednolikosti  $U$  (koeficijent uniformnosti) iznosi 2,5 do 3,5 mm.
- Visina sloja vode iznad pijeska je od 100 do 150 cm.
- Ispod sloja vode nalazi se sloj pijeska u debljini od 60 do 120 cm.
- Ispod sloja pijeska nalazi se sloj šljunka u ukupnoj debljini od 30 do 45 cm, a postavlja se u 6 slojeva (po 5 – 7,5 cm debljine). Promjer zrna šljunka povećava se od vrha prema dnu sloja od 4 mm na vrhu sloja do 5 cm na dnu sloja.

Ispunu sporog filtera čine pijesak ili šljunak sitnije granulacije nego kod brzih filtera.

U postrojenjima za kondicioniranje vode uvijek se gradi po više sporih filtera u grupi, kako bi se osigurala kontinuirana količina kondicionirane vode i u periodu kad su pojedini filteri u fazi čišćenja.

Spori pješčani filteri ne nalaze se u zatvorenom prostoru jer im je za rad potrebna dnevna svjetlost koja je neophodna za razvoj algi koje troše ugljični dioksid, nitrata i fosfate iz vode, te na taj način obogaćuju vodu kisikom. Biološka opna u debljini od 10 do 12 mm formira se na površini filterskog sloja i formirana je od pretežito organskog materijala koji sadrži žive organizme (alge, bakterije i dr.), koji doprinose u procesu uklanjanja amonijaka, fenola, deterdženta, bakterija. Za vrijeme trajanja procesa filtracije, biološka opna se razvija i nakon nekog vremena puca, te dolazi do prolaza vode kroz nastale pukotine i filtracijski sloj. Na taj način se ne dobiva voda zadovoljavajuće kvalitete zbog čega je potrebno pristupiti procesu čišćenja filtera. Nakon postupka čišćenja filtera, te u ponovnoj početnoj fazi rada filtera, nakon pranja filtera, filtrirana voda ne zadovoljava uvjete zbog nepostojanja biološke opne zbog čega se ta voda odvodi u odvodni sustav do stvaranja biološke opne. Sloj pijeska uklonjen u postupku čišćenja filtera se pere i skladišti, te se njime nadopunjuje filterski sloj kad dostigne polovicu svoje prvobitne visine.

Iako su ovi filteri vrlo jednostavni za održavanje, početna investicija je relativno velika, budući da zahtjevaju velike površine zbog malog opterećenja koje mogu preuzeti. To su prvenstveno filteri jednostavne konstrukcije, učinkoviti za uklanjanje bakterija iz vode, zauzimaju veliku površinu, neprikladni su za kondicioniranje jako zamućenih voda, te su manje fleksibilni u radu. Ovi filteri u svrhu kondicioniranja vode imaju dugogodišnju primjenu, koriste se još od 1800.-ih godina i jednostavne su konstrukcije.

## **5.2. Brzi filteri**

Potreba za sve većom količinom proizvedene pitke vode dovela je do razvoja i upotrebe brzih pješčanih filtera. Osnovna razlika u odnosu na spore filtere je u većoj brzini filtriranja vode i u mogućnosti automatskog pranja (čišćenja) filterskog sloja, te činjenicom da brzi filteri ne koriste biološku filtraciju, odnosno nije potrebno stvaranje biološke opne, koja je osnova za filtriranje vode na sporim filterima. Zbog veće brzine filtracije ovi filteri zauzimaju manju površinu. Pogodni su za kondicioniranje zamućenih voda, te zbog automatiziranog pranja filterske ispune

obrnutim strujanjem vode ili vode i zraka cijeli proces rada filtera je kontinuiran. Filtracija na brzim filterima prvenstveno ovisi o mehaničkim djelovanjima procjeđivanja, taloženja, adsorpciji, transportu i dr.

Brzi filteri dobili su ime iz razloga što im je brzina filtriranja i do 40 puta veća u odnosu na brzinu filtriranja kod sporih filtera. Iako se za prosječnu brzinu filtriranja uzima brzina od 5 m/h brzina filtriranja kod ovih filtera kreće se od 4 do 15 m/h [1] što približno iznosi od 100 do 360 m/d. Veće brzine filtriranja omogućuju izgradnju površinski manjih filtera zbog čega su brzi filteri manjih dimenzija u odnosu na spore filtere.

Dok je filtriranje vode u sporim pješčanim filterima biološki proces filtriranja vode kroz gornju biološku opnu na površini pijeska zbog čega se još naziva i površinsko filtriranje, filtriranje na brzim filterima predstavlja dubinsku filtraciju kroz filtersku ispunu (osim u slučaju jednoslojnih brzih filtera). Čestice se uklanjaju po čitavoj dubini filterske ispune postupkom dubinske filtracije što povećava filterski kapacitet zadržavanja čestica bez brzog začepljenja filterske ispune.

Vrijednosti pojedinih parametara brzih filtera su[19]:

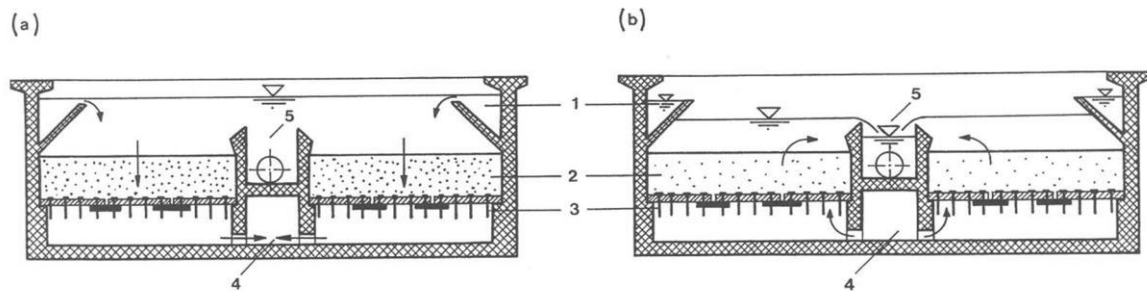
- efektivni promjer filterskog sloja ( $D_{ef}$ ) iznosi 0,45 do 0,55 mm
- koeficijent jednolikosti  $U$  (koeficijent uniformnosti) iznosi 1,50 do 1,70 mm
- debljina filterskog sloja iznosi približno 0,7 do 0,8 m
- dubina vode iznad filterskog sloja iznosi približno od 0,7 do 1,0 m.

Uloga brzih filtera u postrojenjima za kondicioniranje voda prvenstveno je smanjenje zamućenosti vode (smanjenje parametra mutnoće koji se izražava u NTU jedinicama) koji predstavlja česti nedostatak sirove vode, te odstanjivanje čestica zaostalih nakon procesa taloženja ili flotacije.



### 5.2.1. Konstrukcija, filterska ispuna (medij) i drenažni sustav brzih filtera

Na filtraciju kroz pješčanu ispunu brzih filtera utječu karakteristike sloja kao što su veličina zrna, raspodjela slojeva, gustoća, veličina i oblik zrna te poroznost sloja i specifična površina filtera (Slika 29.).



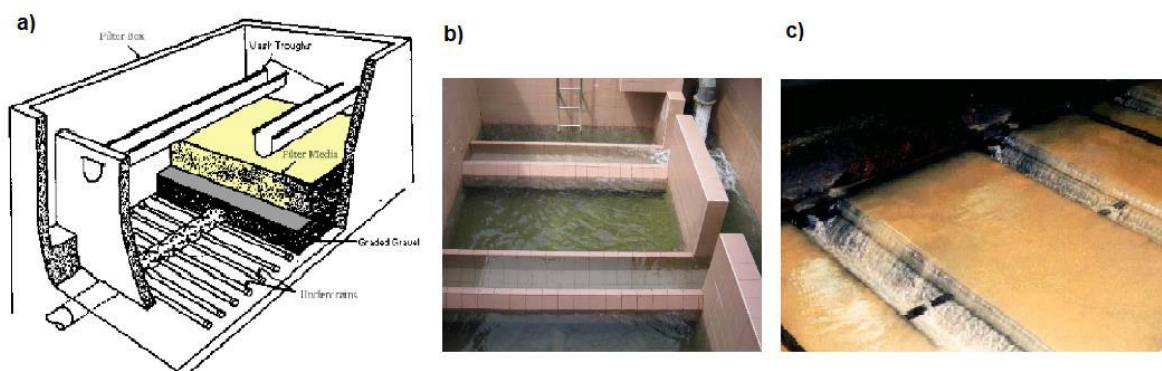
Slika 29.: Presjek kroz brzi filter [19]

(a) smjer strujanja vode pri radu filtera; (a) smjer strujanja vode pri pranju filtera;

1 - dovodni žlijeb vode namijenjene procjeđivanju; 2 - filterski sloj; 3 - mlaznice (sapnice);

4 - sabirni kanal pročišćene (filtrirane) vode; 5 - odvodni žlijeb vode od ispiranja.

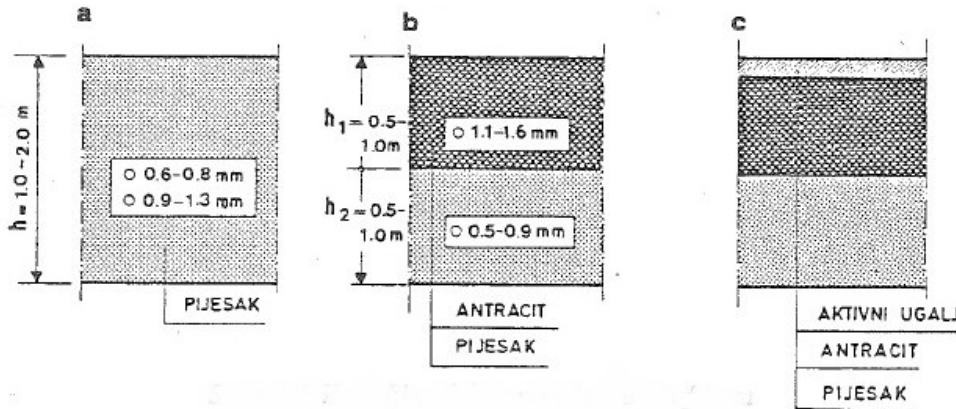
Na Slici 29. i 30. prikazan je presjek karakterističnog brzog filtera. Filter je izgrađen od armirano-betonskog bazena s filterskom ispunom, drenažnog sustava sa sabirnim kanalom za prikupljanje filtrirane vode (na Slici 29. prikazan je drenažni sustav sa sapnicama), žlijeba za odvod vode iz prethodnog procesa, odvodnog žlijeba za odvod vode od pranja filtera. U dijelu slike pod oznakom (a) prikazan je smjer strujanja vode pri radu brzog filtera, dok je u dijelu slike pod oznakom (b) prikazano strujanje vode pri povratnom pranju filtera (odozdo prema gore).



Slika 30.: Brzi filteri [20]

(a) konstrukcija filtera; (b) rad filtera; (c) pranje filtera

Filterska ispuna kod brzih filtera može biti višeslojna, odnosno jednoslojna, dvoslojna i troslojna (Slika 31.). Uobičajeni materijali za izradu filterskih ispuna jesu pijesak, antracit, granulirani aktivni ugljen i granat. Neke od materijala, kao primjer pijesak, moguće je koristiti kao jedinstvene, dok se pojedini koriste samo u kombinacijama s drugim materijalima.



Slika 31.: Vrste filterskih ispuna kod brzih filtera [1]

a - jednoslojna, b- dvoslojna, c - troslojna ispuna

Kod jednoslojnih brzih filtera odvija se površinska filtracija, budući je filterska ispuna izgrađena od pijeska čija se granulacija povećava od vrha ispune prema dnu. Vrh ispune je manje porozan, te se u tom dijelu zadržavaju suspendirane tvari dok preostali, niži dijelovi ispune gotovo ni nemaju funkciju filtriranja. Na gornjim dijelovima filterske ispune postavlja se pijesak granulacije od 0,06 do 0,8 mm dok na donjim od 0,09 do 1,3 mm. Visina filterske ispune iznosi od 1,0 do 2,0 m, dok brzina filtriranja iznosi 4 do 7 m/h. Zbog površinskog filtriranja javlja se potreba za češćim pranjem filterske ispune.

Najčešće je u primjeni dvoslojni brzi filter kod kojih je gornji sloj veće granulacije u odnosu na donji sloj filterske ispune. Na ovaj način stvoreni su uvjeti za filtriranje po dubini sloja, budući čestice prodiru kroz gornji, porozniji sloj u dubinu. Dok je kod jednoslojnih filtera filterska ispuna sastavljena od pijeska, kod dvoslojnih filtera filtersku ispunu čini sloj antracita preko sloja pijeska čiji je stupanj poroznosti veći te služi zadržavanju čestica koje eventualno prođu kroz gornji sloj veće poroznosti. Gornji sloj od antracita granulacije od 1,1 do 1,6 mm postavlja se u sloju debljine 0,5 do 1,0 m dok je donji sloj pijeska granulacije 0,5 do 0,9 mm i postavlja se u istoj

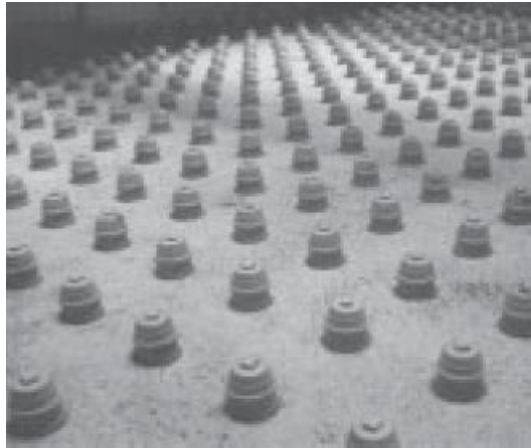
debljini sloja od 0,5 do 1,0 m. Ponekad se umjesto antracita, za gornji sloj koristi i aktivni ugljen. Brzina filtriranja kod dvoslojnih filtera je veća u odnosu na jednoslojne filtere i iznosi 7 – 15 m/h zbog čega je i učestalost za pranjem filterske ispune manja, dok je kvaliteta filtrirane vode jednake ili bolje kvalitete.

Kod troslojnih i višeslojnih filtera za filtersku ispunu koristi se sloj aktivnog ugljena koji se postavlja na sloj antracita i sloj pijeska. Često se nazivaju i filteri s mješovitim filterskim slojem, jer filterska ispuna može biti i miješana s granulacijom, koja se povećava od dna prema vrhu sloja, odnosno filterska ispuna ne mora biti izvedena os slojeva materijala. Odabir odgovarajuće filterske ispune utječe na efikasnost filtriranje vode, te na hidrauličke gubitke.

Funkcija drenažnog sustava je nosivost filterske ispune, prikupljanje i prijenos filtrirane vode kroz sustav cijevi u sljedeću fazu kondicioniranja vode (ili u spremnik čiste vode) te distribucija vode i zraka u procesu povratnog pranja filtera. Drenažni sustav prikuplja filtriranu vodu ravnomjerno kako bi se osigurao učinkovit rad filtera.

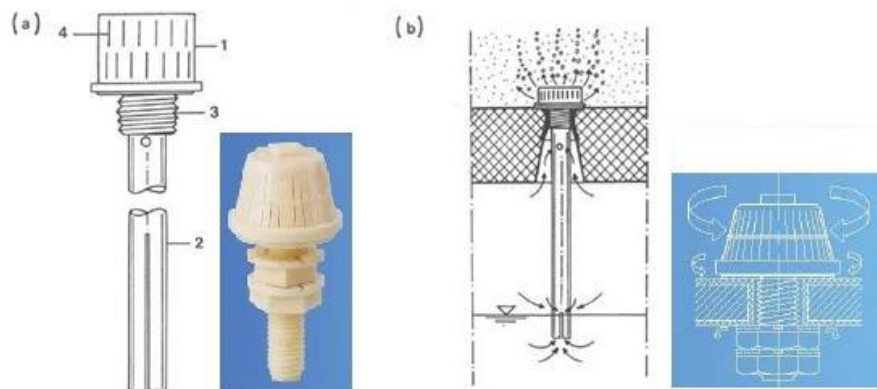
Prvotno se za drenažni sustav koristila mreža perforiranih cijevi prekrivenih s nekoliko slojeva šljunka različitih granulacija (granulacije se povećavaju prema gornjim slojevima) kako bi se spriječio ulazak filterske ispune u perforacije. Perforiranim cijevima prikupljala se filtrirana voda iz filtera, te se pomoću njih izvodio i proces povratnog pranja filterske ispune.

Suvremeni drenažni sustavi sastoje se od lažnog dna izgrađenog od perforirane betonske ploče u kojemu je smješten drenažni sustav sa sapnicama (mlaznicama). Postavlja se 70 -100 sapnica po m<sup>2</sup> (Slika 32.) kroz koje se prikuplja filtrirana voda u donji dio filtera odnosno u sabirnom kanalu i odvodi kroz sustav cijevi u sljedeću fazu kondicioniranja vode ili u spremnik čiste vode [1].



Slika 32.: Drenažni sustav sa sapnicama [18]

Sapnice se većinom izrađuju kao plastične (mogu biti i metalne), a sastavljene su od glave i drške kao što je prikazano na Slici 33. Ugrađuju se u perforiranu armirano-betonsku ploču lažnog dna na način da je glava iznad ploče, te je navojem pričvršćena za dršku sapnice koja se nalazi ispod perforirane ploče. Glava je izvedena od kape s prorezima kako bi se onemogućilo iznošenje granulata filterske ispune izvan filtera, odnosno u drenažni sustav.



Slika 33.: Sapnice kao element drenažnog sustava brzog filtera [19, 20]

(a) dijelovi sapnice, (b) ugradnja sapnice u perforiranu ploču lažnog dna

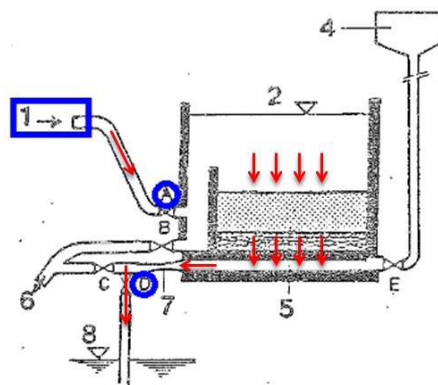
1 – glava, 2 – drška, 3 – navoj, 4 - prorez

Ovakvim drenažnim sustavom sa sistemom sapnicama utječe se na smanjenje hidrauličkih gubitaka jer je pritisak konstantan, a osigurava se i ravnomjerna distribucija vode i zraka u fazi povratnog pranja filtera.

### 5.2.1. Rad filtera, povratno pranje i način upravljanja

Ovisno o sustavu, odnosno složenosti procesa kondicioniranja, proces dobivanja kondicioniranja vode se nakon predtretmana (npr. taloženja, flokulacije, flotacije ili dr.) nastavlja kroz filter.

Brzi gravitacijski filteri su složeni filteri, te je u nastavku prikazan rad klasičnog brzog gravitacijskog pješčanog filtera (Slika 34.).



Slika 34.: Shema rada brzog filtera [1]

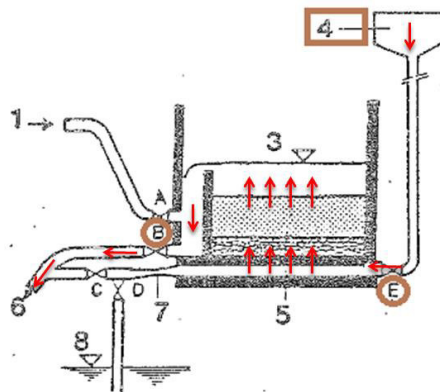
1- dovod vode iz taložnika; 2- radni nivo vode; 3- nivo vode za vrijeme pranja; 4- spremnik čiste vode za pranje filtera; 5- filterski zasip; 6- voda od pranja; 7- mjerac protoka; 8- nivo u rezervoaru čiste vode; A, B, C, D, E - zatvarači

Dotok izbisterene vode iz prethodne faze kondicioniranja dovodi se do filtera (oznaka smjera 1) pri čemu su ulazni ventil (A) i izlazni ventil prema nastavku procesa kondicioniranja (D) otvoreni dok su ostali ventili, pretežito vezani za pranje filtera, (B, C, D i E) zatvoreni.

Voda prolazi kroz filterski sloj do drenažnog sustava filtera od kuda se odvodi na daljnju obradu ili u spremnik (8), ovisno o cjelokupnom sustavu kondicioniranja. Cijeli proces filtriranja odvija se gravitacijski pri čemu je visina sloja vode iznad površine filtera 0,9 do 1,2 m, dok maksimalni pritisak pod kojim se odvija proces predstavlja razliku nivoa vode iznad površine filtera i npr. u rezervoaru čiste vode.

Kako ne bi došlo do velikih brzina filtracije za vrijeme dok je filterski sloj čist, rad filtera i održavanje odgovarajuće (projektirane) brzine filtracije regulira se promjenom protoka, odnosno ventilima na izlazu koji su povezani s mjerачima protoka (7).

Za razliku od čišćenja sporih filtera na način da se uklanja dio gornjeg sloja filterske ispune, pranje brzih filtera provodi se obrnutim strujanjem vode i zraka u odnosu na smjer filtriranja vode. Tijekom procesa filtracije, filterski sloj se zapunjuje prljavštinama, pri čemu se povećavaju hidraulički gubici. Kad hidraulički gubici dosegnu određenu graničnu vrijednost provodi se proces pranja filterske ispune koje može biti vodom, zrakom i vodom ili samo zrakom (Slika 35.).



Slika 35.: Shema pranja brzog filtera [1]

Ulazni ventil (A) i izlazni ventil prema nastavku procesa kondicioniranja (D) su zatvoreni dok su ventil rezervoara čiste vode za pranje filtera (E) i ventil odvoda otpadne vode od čišćenja filtera (B) otvoreni. Postupak pranja započinje strujanjem čiste vode iz rezervoara kroz filtersku ispunu obrnutim smjerom od smjera filtracije. Pod djelovanjem vode zrnca se čiste, filterska ispuna se zamućuje i povećava joj se volumen i do 50%.

Voda od pranja se sakuplja u sabirne žlijebeve i odvodi se u sustav pročišćavanja. Preljevni rub žlijeba nalazi se na odgovarajućoj visini iznad filterskog sloja kako pijesak prilikom pranja ne bi vodom dospio u žlijeb. Čista voda za pranje filtera osigurava se u rezervoaru, od kojeg se pod tlakom dovodi do filtera zasebnim

sustavom cijevi. Zbog potrebe osiguranja čiste vode za pranje filtera, dolazi do određenog gubitka u konačnoj količini proizvedene, kondicionirane vode. Gubitak iznosi približno 3 do 5 % filtrirane vode [19].

Kako bi se odstranio eventualno zaostali talog nakon procesa čišćenja filterske ispune voda se u određenom kratkom periodu ponovnog početka procesa filtracije koristi za odstranjivanje tog zaostalog taloga na način da je ventil odvoda otpadne vode od čišćenja filtera (C) otvoren dok su svi ostali ventili zatvoreni.

Svaki sustav za kondicioniranje vode, u slučaju da u procesu kondicioniranja ima predmetne filtere, ima više filtera tako da pranje svakog pojedinog filtera ne utječe na rad postrojenja budući se filteri peru odvojeno, odnosno neovisno jedan o drugom.

Povratno pranje filtera traje između 5 i 7 minuta, na način da se u prve 2 minute pušta voda, slijedeće 2 do 3 minute voda i zrak zajedno, te se u zadnju 1 do 2 minute u svrhu ispiranja dodatno ponovno pušta voda [19].

Osnovni čimbenici koji utječu na rad filtera jesu kvaliteta filtrata i količina filtrirane vode. Filtracijom je potrebno postići kvalitetu vode stupnja koji je definiran propisima. Na proces postizanja zadovoljavajuće kvalitete vode u procesu filtracije utječu i stupanj pripreme vode prije filtracije i uvjeti za vrijeme filtracije.

Postoje tri načina upravljanja radom filtera [1]:

#### 1. Konstantni nivo filtracije (najčešći)

Konstantni nivo održava se promjenom stupnja otvorenosti zatvarača na cijevi za filtriranu vodu. U početku rada filtera ispuna je čista i ima mali otpor, te se konstantni nivo filtracije osigurava držanjem zatvarača manje otvorenim (umjetno se regulira, odnosno povećava otpor u filterskoj ispuni), dok se u daljnjem radu filtera zaprljanjem filterske ispune povećavaju otpori. Na taj način, zatvarači se sve više otvaraju kako bi se kompenzirali porasti otpora što također predstavlja umjetno reguliranje otpora.

## 2. Konstantna brzina filtracije

U filteru se održava stalni pritisak koji je manji od raspoloživog, također na način da se za vrijeme filtracije mijenja stupanj zatvarača na cijevi za čistu vodu. U početku rada filtera, dok je ispuna čista i ima mali otpor, otpor se povećava manjim otvaranjem zatvarača.

## 3. Opadajuća brzina filtracije

Koristi se ukupan raspoloživi hidraulički pritisak u filteru, te je to prirodan način samoregulacije filtera. U procesu rada filtera s vremenom se ispuna zapunjuje prljavštinama i ima veće otpore što dovodi do opadanja brzine filtriranja. Kod ovog načina upravljanja potrebno je ograničiti početnu brzinu filtriranja koja se ograničava na način da je 20-50% veća od projektirane.

## 5.2. Primjeri izračuna pojedinih parametara pri procesu filtriranja

### *Primjer 1. - Taloženje čestica*

Brzina taloženja čestice ovisi o silama koje djeluju na tu česticu kao što su sila gravitacije, sila uzgona i sila otpora trenju. Brzina taloženja diskretne (prilikom taloženja ne mijenja veličinu, težinu ili oblik), okrugle čestice, neovisno o režimu kretanja (laminarno ili turbulentno), izvodi se iz izraza [17]:

$$u = \left( \frac{4g(\rho_c - \rho)d}{3C_D\rho} \right)^{1/2}$$

gdje je:

$u$  – brzina taloženja čestice (m/s)

$g$  – ubrzanje zemljine sile teže (m/s<sup>2</sup>)

$\rho_c$  – specifična gustoća (masa) čestice (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho$  – specifična gustoća (masa) vode (kg/m<sup>3</sup>)

$d$  – promjer čestice (m)

$C_D$  – vučni koeficijent otpora.



Uvjet za proces taloženja je da specifična masa (gustoća) čestice mora biti veća od specifične mase (gustoće) vode, odnosno:

$$\rho_c > \rho \quad \rightarrow \text{dolazi do procesa taloženja}$$

dok za:

$$\rho_c < \rho \quad \rightarrow \text{dolazi do procesa flotacije}$$

$$\rho_c = \rho \quad \rightarrow \text{ne dolazi do procesa taloženja.}$$

Vučni koeficijent otpora ( $C_D$ ) različit je za različite oblike čestica, odnosno njegova vrijednost ovisi o gustoći vode ( $\rho$ ), brzini taloženja ( $u$ ), promjeru čestice ( $d$ ) i dinamičkom koeficijentu viskoznosti vode ( $\mu$ ) što daje Reynoldsov broj  $Re$  kao [17]:

$$Re = \frac{\rho u d}{\mu} \quad (/)$$

Kako je kinematički koeficijent viskoznosti omjer dinamičkog koeficijenta viskoznosti i gustoće vode:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

slijedi [13]:

$$Re = \frac{u d}{\nu} \quad (/)$$

gdje je:  $\mu$  – dinamički koeficijent viskoznosti (Pas = Ns/m<sup>2</sup>)  
 $\nu$  – kinematički koeficijent viskoznosti (cm<sup>2</sup>/s ili m<sup>2</sup>/s)  
viskoznost – unutarnje trenje pri strujanju vode zbog različite brzine gibanja njenih slojeva.

Za laminarno strujanje vrijednost Reynoldsovog broja  $Re < 0,5$  pa vrijedi izraz [2]:

$$C_D = \frac{24}{Re} \quad (/)$$

Uvrštavanjem gornjih izraza u početnu formulu za brzinu taloženja čestica dobiva se brzina taloženja čestica po **Stokesovom zakonu** tečenja u laminarnim uvjetima, prema izrazu [2]:

$$u = \frac{g(\rho_c - \rho)d^2}{18\nu}$$

Stokesov zakon vrijedi za uvijete laminarnog strujanja i ne može se primjenjivati za turbulentna taloženja.

Za okrugle čestice vrijednost Reynoldsovog broja iznosi  $Re < 10^4$ , te vrijedi izraz [2]:

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0,34 \quad (/)$$

Kod turbulentnog strujanja, gdje je vrijednost Reynoldsovog broja u granicama  $10^3 < Re < 10^4$ , vrijednost vučnog koeficijenta ( $C_D$ ) ostaje nepromijenjena i iznosi 0,44. Brzina taloženja čestica u turbulentnim uvjetima računa se po **Newtonovom zakonu** [17]:

$$u = 1,74 \left( \frac{(\rho_c - \rho)gd}{\rho} \right)^{1/2}$$

U nastavku je proveden izračun brzine taloženja u vodi pri temperaturi od 15 °C za okrugle čestice pijeska specifične težine 2,40 g/cm<sup>3</sup> i prosječnog promjera 4\*10<sup>-3</sup> m. Dodatne fizikalne veličine koje su poznate u primjeru su:

Specifična masa (gustoća) vode	$\rho = 1,00 \text{ g/cm}^3$
specifična masa (gustoća) čestice	$\rho_c = 2,40 \text{ g/cm}^3$
kinematički koef. viskoznost vode pri 15°C	$\nu = 1,1384 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ [26]
promjer čestice	$d = 4 \cdot 10^{-3} \text{ cm}$ .

Brzina taloženja prema **Stokesovom zakonu za čestice** prosječnog promjera 4\*10<sup>-3</sup> cm iznosi:

$$u = \frac{g(\rho_c - \rho)d^2}{18\nu} = \frac{981 * (2,40 - 1,0) * (4 * 10^{-3})^2}{18 * 1,1384 * 10^{-2}} = 0,11 \text{ cm/s}$$

Provjera izračuna prema Reynoldsovom broju ( $Re$ ):

$$Re = \frac{u d}{\nu} = \frac{0,11 * 4 * 10^{-3}}{1,1384 * 10^{-2}} = 0,038 (/)$$

Stokesov zakon je primjenjiv s obzirom da je zadovoljen uvjet  $Re < 0,5$  ( $0,038 < 0,5$ ).

### **Primjer 2. - Filtracija**

Površina filtera ovisi o protoku ( $Q$ ) i brzini filtracije koji su promjenjivi i na njih utječu različiti čimbenici (potrošnja vode je različita po godišnjim dobima i u određenim dijelovima dana, kakvoća sirove vode, svojstva strane tvari u vodi i dr.), te ih je potrebno analizirati prilikom dimenzioniranja filtera.

Površina filtera se određuje na temelju sljedeće formule:

$$A = \frac{Q}{v} \quad (\text{m}^2) \quad [17]$$

gdje je:  $A$  – površina filtera ( $\text{m}^2$ )  
 $v$  – brzina filtracije ( $\text{m/s}$ )  
 $Q$  – količina vode na dan ( $\text{m}^3/\text{dan}$ ), maksimalna količina vode u tijeku dana koju je potrebno osigurati za opskrbu.

Izračun broja i veličine brzih pješčanih filtera pri brzini filtracije od  $2 * 10^{-3} \text{ m/s}$  (što iznosi 170 m/dan) te za potrebe osiguranja količine pitke vode od 23.000  $\text{m}^3/\text{dan}$  provodi se u nastavku. Maksimalna limitirana površina svakog pojedinog filtera iznosi 40  $\text{m}^2$ , te na temelju te konstatacije slijedi:

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{23.000 \text{ m}^3/\text{d}}{170 \text{ m/d}} = 135 \text{ m}^2 \sim 150 \text{ m}^2$$

Zbog gubitaka, izračunate površine filtera uvijek se zaokružuju na veću vrijednost.

Određivanje broja filtera slijedi iz određene vrijednosti površine filtera:

$$n = \frac{150 \text{ m}^2}{40 \text{ m}^2} = 3,75 \sim 4$$

Provjera površine svakog filtera provodi se na slijedeći način:

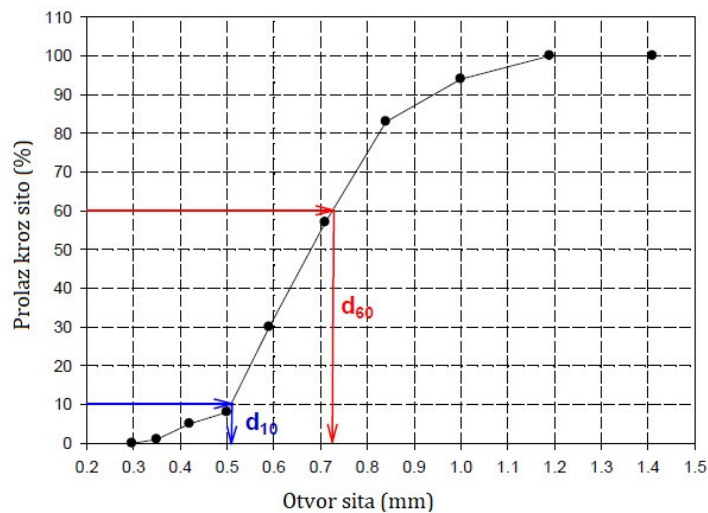
$$a = \frac{150 \text{ m}^2}{4} = 37,5 \text{ m}^2 \sim 40 \text{ m}^2$$

Granulometrijski dijagram i određivanje efektivnog promjera i koeficijenta jednolikosti  $U$  (koeficijenta uniformnosti) pješčane ispune provodi se prema karakterističnim rezultatima prosijavanja iz granulometrijske tablice. Granulometrijska obilježja pijeska utvrđena su prosijavanjem uzorka pijeska kroz sustav sita, te su dobiveni rezultati prikazani u Tablici 5.

Tablica 5.: Granulometrijska obilježja dobivena prosijavanjem uzorka [21]

Otvor sita (mm)	Prolaz kroz sito (%)
1,41	100
1,19	100
1	94
0,84	83
0,71	57
0,59	30
0,5	8
0,42	5
0,35	1
0,29	0

Graf 6.: Granulometrijski dijagram uzorka



Na temelju određenog grafa 6. slijedi izračun efektivnog promjera zrna filterskog sloja:

$$D_{ef} = D_{10} = 0,51 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 0,73 \text{ mm}$$

Koeficijenta jednolikosti  $U$  je potom lako odrediti:

$$U = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0,73 \text{ mm}}{0,51 \text{ mm}} = 1,43 \text{ (/)}$$

Protjecanje kroz poroznu sredinu za proračun hidrauličkog otpora u postupku filtracije kroz čisti pješčani filter izračunava se prema Kozeny jednadžbi [17]:

$$\frac{h}{L} = \frac{k \mu (1 - \varepsilon)^2}{g \rho \varepsilon^3} \left( \frac{A}{V} \right)^2 v$$

- gdje je:
- $h$  – gubitak tlaka (m)
  - $k$  – Kozeny koeficijent ( $k=6$ )
  - $\mu/\rho = \nu$  – kinematički koeficijent viskoznosti vode ( $\text{m}^2/\text{s}$ )
  - $\rho$  – specifična gustoća vode ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
  - $\varepsilon$  – poroznost (/)
  - $A/V$  – odnos površine i obujma (volumena) zrna
  - $v$  – brzina dotoka vode ( $\text{m}/\text{s}$ )
  - $L$  – visina filterskog tijela (m).

Izračun gubitka tlaka u dvoslojnom brzom filteru sastavljenog od sloja antracita debljine 0,4 m veličine zrna 2 mm koji je postavljen na sloj pijeska debljine 0,7 m i veličine zrna 0,7 mm. Brzina filtracije iznosi 8,8 m/h. Poroznost materijala je uzeta sa vrijednošću 0,4. Temperatura vode iznosi 15 °C.

Gubitak tlaka pri prolazu kroz sloj antracita jednak je:

$$h_1 = k * \frac{\nu}{g} * \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} * \left( \frac{A}{V} \right)^2 * v * L$$

$$h_1 = 6 * \frac{1,131 * 10^{-6}}{9,81} * \frac{(1 - 0,4)^2}{0,4^3} * \left(\frac{8}{0,002}\right)^2 * 0,00244 * 0,4 = 0,0607 \text{ m}$$

Gubitak tlaka pri prolazu kroz sloj pijeska računa se na slijedeći način:

$$h_2 = k * \frac{v}{g} * \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} * \left(\frac{A}{V}\right)^2 * v * L =$$

$$h_2 = 6 * \frac{1,131 * 10^{-6}}{9,81} * \frac{(1 - 0,4)^2}{0,4^3} * \left(\frac{8}{0,0007}\right)^2 * 0,00244 * 0,7 = 0,86 \text{ m}$$

Ukupan gubitak tlaka jednak je:

$$h = h_1 + h_2 = 0,0607 + 0,86 = 0,9207 \text{ m}$$

Izračun hidrauličkog gubitka tlaka za laminarni tok kod čistog filtera kod opterećene vode prema Kozeny jednadžbi [2] određuje se temeljem formule:

$$I_0 = \frac{180v}{g} \frac{(1 - p)^2}{p^3} \frac{v}{D_{ef}^2}$$

gdje je:  $\nu$  – kinematički koeficijent viskoznosti ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$p$  – poroznost filterske ispune (%)

$D_{ef}$  – efektivni promjer zrna (mm).

Kako bi se dobio izraz za izračun hidrauličkog gubitka u tijeku filtracije dio gornje jednadžbe izražava se pomoću [2]:

$$\frac{\gamma v \lambda_0 C_0}{p} = \alpha$$

gdje je:  $\gamma$  – specifični volumen izdvojene tvari,  $1/\rho$ , ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )

$\lambda_0$  – koeficijent filtracije, ( $\text{m}^{-1}$ )

$C_0$  – početna mutnoća (koncentracija strane tvari u vodi), ( $\text{mg/l}$ ).

Jednadžba za izračun hidrauličkog gubitka u tijeku filtracije određuje se putem [2]:

$$H_g = \frac{I_0}{\lambda_0} \left[ \frac{\alpha t}{1 - \alpha t} \frac{e^{\lambda H} - 1}{e^{\lambda H} - \alpha t} + \ln \left( \frac{e^{\lambda H} - \alpha t}{1 - \alpha t} \right) \right] \quad (\text{m})$$

gdje je:  $H$  – visina filterske ispune, (m)  
 $e$  – Napierova konstanta,  $e = 2,718$ .

Kakvoća filtrata, pod pretpostavkom konstantnog koeficijenta poroznosti određuje se na temelju izraza [2]:

$$C = C_0 e^{-\lambda H} \quad (\text{kg/m}^3)$$

dok se količina izdvojene tvari računa prema izrazu [2]:

$$D_v = \frac{\alpha p_0 t}{\lambda_0} (1 - e^{-\lambda H}) \quad (\text{m}^3/\text{m}^3)$$

U nastavku rada je potrebno proračunati parametre procesa filtracije, hidrauličke gubitke tijekom filtracije, koncentraciju izdvojene tvari, te trajanje pogona filtera u odnosu na kakvoću filtera ukoliko je zadano:

visina filtera	$H = 0,8 \text{ m}$
koncentracija strane tvari	$C_0 = 16 \text{ mg/l}$
specifični volumen izdvojene tvari	$\gamma = 0,015 \text{ m}^3/\text{kg}$
kinematička viskoznost vode pri 15 °C	$\nu = 1,138 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ [26]
efektivni promjer zrna čestice	$D_{ef} = 0,9 \cdot 10^{-3} \text{ cm}$
poroznost	$p_0 = 0,4 \%$
brzina filtracije	$v = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$
koeficijent filtracije	$\lambda_0 = 6 \text{ m}^{-1}$

Gubitak tlaka za laminarni tok kod čistog filtera iznosi:

$$I_0 = \frac{180\nu}{g} \frac{(1-p)^2}{p^3} \frac{v}{D_{ef}^2} = \frac{180 * 1,1384 * 10^{-6}}{9,81} * \frac{(1-0,4)^2}{0,4^3} * \frac{3 * 10^{-3}}{(0,9 * 10^{-3})^2} = 0,43$$

Gubitci uslijed procesa filtracije određeni su na slijedeći način:

$$\alpha = \frac{\gamma v \lambda_0 C_0}{p} = \frac{0,015 * 2 * 10^{-3} * 6 * 16 * 10^{-3}}{0,4} = 7,2 * 10^{-6}$$

$$H_g = \frac{I_0}{\lambda_0} \left[ \frac{\alpha t}{1 - \alpha t} \frac{e^{\lambda H} - 1}{e^{\lambda H} - \alpha t} + \ln \left( \frac{e^{\lambda H} - \alpha t}{1 - \alpha t} \right) \right]$$

Na temelju gornje formulacije mogu se odrediti gubitci u procesu filtracije pri različitim vrijednostima  $t$ :

$$H_g = \frac{0,43}{6} \left[ \frac{7,2 * 10^{-6} * t}{1 - 7,2 * 10^{-6} * t} * \frac{121 - 1}{121 - 7,2 * 10^{-6} * t} + \ln \left( \frac{121 - 7,2 * 10^{-6} * t}{1 - 7,2 * 10^{-6} * t} \right) \right]$$

$T (*10^5 \text{ s})$	0,0	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,39
$H_g \text{ (m)}$	0,34	0,37	0,42	0,48	0,62	1,15	$\infty$

Prema provedenom primjeru, utvrđen je spori rast hidrauličkih gubitaka u početku filtracije do 28 sati rada filtera ( $1 * 10^5 \text{ s}$ ), a do kolmatacije filtera (začepljenja pora filterske ispune izdvojenom tvari) dolazi nakon 38 sati rada filtera ( $1,39 * 10^5 \text{ s}$ ).

Kakvoća filtrata za dani slučaj iznosi:

$$C = C_0 e^{-\lambda H} = 16 * e^{-(6 * 0,8)} = 0,136 \text{ mg/m}^3$$

dok je količina izdvojene tvari jednaka:

$$D_v = \frac{\alpha p_0 t}{\lambda_0} (1 - e^{-\lambda H}) = \frac{7,2 * 10^{-6} * 0,4 * 1,39 * 10^5}{6} * (1 - e^{-6 * 0,8}) = 0,066 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

Količina izdvojene tvari za visinu filtera od 0,8 m daje količinu:

$$D_v = \frac{0,066}{0,8} = 0,0825 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

i odgovara težini od:

$$\frac{0,0825 \text{ m}^3/\text{m}^3}{0,02 \text{ kg/m}^3} = 4,13 \text{ kg/m}^3.$$



## 6. ZAKLJUČAK

Iako je postrojenje Butoniga jedan je od najsuvremenijih postrojenja za kondicioniranje vode u Hrvatskoj, te je funkcija jezera višenamjenska (akumulacija vode za kondicioniranje, obrana od poplava i navodnjavanje) sve je više izražen problem nedostatka vode budući su ukupni dotoci u akumulaciji značajno manji od planiranih, kakvoća sirove vode u akumulaciji je nepovoljnija zbog nepovoljnog temperaturnog režima i plitkog stupca sirove vode zbog čega je i povećan unos hranjivih tvari. Također, prisutne su nepovoljne koncentracije mangana, amonijaka i fosfora u nekoliko posljednjih godina.

Problem nedostatka vode dijelom se smanjio opskrbom dijela vode iz izvora Bulaž, međutim postrojenje Butoniga prvenstveno je dimenzionirano i dizajnirano za kondicioniranje površinskih voda, zbog čega se izvor koristi samo u izvanrednim prilikama, pretežito ljeti budući se na vodoopskrbnom području Istarskog Vodovoda, kroz godine, bilježi stalan rast broja potrošača zbog utjecaja kontinuiranog razvoja turizma i vezanih uslužnih djelatnosti. Problem osiguranja dostatne količine vode bio bi značajno manji da je akumulacijski prostor znatno veći, odnosno da postoje veće dubine vode u jezeru, budući je akumulacija za vodoopskrbne potrebe vrlo plitka. Eventualna rješenja mogla bi biti utjecajem na ograničen donos nanosa i nutrijenata u jezero, te povećanje kapaciteta jezera povećanjem visine brane i izgradnja predakumulacija kojima bi se mogao odstraniti nanos.

Osim nedostatka vode, kritičan problem je i povišena temperatura vode u ljetnom periodu, kada temperatura vode na površini doseže i 28 °C, dok je maksimalno dopuštena temperatura vode za proces kondicioniranja 25 °C. Na potrebu zahvaćanja vode na većim dubinama, radi osiguranja odgovarajuće temperature vode, utječe i termalna stratifikacija vode. U ljetnom periodu voda se zahvaća iz najnižih slojeva u kojima dolazi do potpune anoksije, te na porast koncentracije mangana, željeza, amonijaka i sumporovodika. Sama temperatura vode se dodatno povećava i u postupku kondicioniranja, odnosno u fazi spore filtracije. Pritom se temperatura vode povećava za približno i do 2 °C, budući se spori filteri nalaze vani i izloženi su djelovanju sunčevog zračenja (insolacije). Brzina filtracije je mala, a površine vodnog

lica su velike. U sustavu za kondicioniranje vode ne postoji faza u kojoj bi se mogo utjecati na smanjenje temperature vode.

Kondicioniranje vode je proces za postizanje odgovarajućih svojstava pitke vode i koncentracije tvari ispod maksimalno dopuštenih vrijednosti, te je proces koji je uvijek neophodan u slučajevima kada se utvrdi da sirova izvorišna voda ne odgovara propisanim standardima kvalitete. Kako bi se mogla utvrditi potreba za kondicioniranjem te vrsta i metoda kondicioniranja, prethodno je potrebno odrediti zahtijevane parametre kvalitete vode prirodnog izvorišta.

Budući da površinske vode najčešće sadrže alge, sedimente, gline i druge organske ili anorganske čestice, većina postrojenja za kondicioniranje površinskih voda u svom postupku obuhvaćaju i postupak filtracije, te se uklanjanjem čestica utječe i na poboljšanje bistrine vode.

U postrojenju za kondicioniranje vode Butoniga za brzu filtraciju koriste se brzi gravitacijski pješčani filteri organizirani u osam filterskih polja kapaciteta 450 m<sup>3</sup>/h što zadovoljava kontinuirani proces i zahtjevane količine filtrirane vode. Procesi filtriranja i povratnog pranja brzih filtera je u potpunosti automatiziran. U postrojenju je utjecaj filtracije na brzim pješčanim filterima na parametar mutnoće vode vrlo velik. Za primjer, u prosincu 2020. g. nakon predtretmana, odnosno prije obrade vode na brzim pješčanim filterima mutnoća vode iznosila je 10,44 NTU jedinica, dok je nakon procesa filtracije ona iznosila 0,17 NTU jedinica, što je bitno ispod maksimalno dopuštene količine od 1 NTU.

Brza filtracija, kao faza u kondicioniranju vode, je danas jedna od najšire korištenih, iako se posljednjih godina značajnu primjenu preuzimaju oblici membranske filtracije koji su zbog visokih cijena primjene ipak zastupljeniji samo u razvijenim zemljama.

## LITERATURA

- [1] Jahić, M.B., *Priprema vode za piće*, Naučno obrazovni Institut za uređenje voda, Poljoprivredni fakultet u Novom Sadu, Novi Sad, 1990.
- [2] Gulić, I., *Kondicioniranje vode*, Hrvatski savez građevinskih inženjera (HSGI), Zagreb, 2003.
- [3] Istarski vodovod d.o.o., Buzet, *Tehnički opis procesa proizvodnje vode u radnoj jedinici RJ Butoniga*, 2021.
- [4] Istarski vodovod d.o.o. Buzet, Godišnje izvješće za 2014. godinu
- [5] Istarski vodovod d.o.o. Buzet, Godišnje izvješće za 2016. godinu
- [6] Istarski vodovod d.o.o. Buzet, Godišnje izvješće za 2017. godinu
- [7] Istarski vodovod d.o.o. Buzet, Godišnje izvješće za 2019. godinu
- [8] Istarski vodovod d.o.o. Buzet, Godišnje izvješće za 2020. godinu
- [9] Istarski vodovod d.o.o. Buzet, Plan poslovanja za 2021. godinu
- [10] Institut IGH d.d. Zagreb, *Elaborat zaštite okoliša, Sustav javne odvodnje i zaštite voda Istarske županije – 1B Faza*, 2017.
- [11] Hidroprojekt ING d.o.o. Zagreb, *Novelacija vodoopskrbnog plana Istarske županije*, 2016.
- [12] Arhiv Istarskog Vodovoda d.o.o., Buzet, 2021.
- [13] Žic, E., *Osnove kondicioniranja pitkih i pročišćavanje otpadne vode*, predavanja sa istoimenog kolegija, interna skripta, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2019.
- [14] *Zakonom o vodi za ljudsku potrošnju* (NN 056/2013, NN 64/15, 104/2017, NN 115/18, NN 16/20)
- [15] *Pravilnik o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe* (NN 125/2017, 39/2020)
- [16] 4. Hrvatska konferencija o vodama s međunarodnim sudjelovanjem, Hrvatske vode i Europska Unija – Izazovi i mogućnosti, Zbornik radova, 17.-19.05.2007., Opatija
- [17] Shun Dar Lin, *Water and Wastewater Calculation Manual*, Second Edition, 2007
- [18] Crittenden J. C., Trussell Rhodes, Hand D., Howe K., Tchobanoglous G., *Water Treatment, Principles and Design*, Third Edition, 2012.

- [19] Vuković Ž., *Opskrba vodom i odvodnja I.*, Zagreb, 2013.
- [20] Rabah F., *Water Treatment*, Presentation Lecture 5: Filtration, Islamic University of Gaza – Environmental Engineering Department, 2015.
- [21] Kocamemi Alpaslan B., Presentation: Filtration, Marmara University, Department of Environmental Engineering, Istanbul, Turkey, 2016.
- [22] Zamimljivosti o vodi, <https://www.voda.hr/en/node/3793>, preuzeto dana 08.07.2021.
- [23] Istarski vodovod d.o.o., <https://www.ivb.hr/o-vodovodu>, preuzeto dana 15.06.2021.
- [24] Kondicioniranje vode, <https://pdfslide.tips/documents/kondicioniranje-vode-56c534b767120.html>, preuzeto dana 16.08.2021.
- [25] Brzi procjeđivač, <https://hr.wikipedia.org/wiki/>, preuzeto dana 08.08.2021.
- [26] Kinematička viskoznost vode pri određenoj temperaturi, [https://www.engineeringtoolbox.com/water-dynamic-kinematic-viscosity-d\\_596.html](https://www.engineeringtoolbox.com/water-dynamic-kinematic-viscosity-d_596.html), preuzeto dana 16.08.2021.