

Primljen / Received: 6.3.2020.

Ispravljen / Corrected: 9.6.2020.

Prihvaćen / Accepted: 22.8.2020.

Dostupno online / Available online: 10.3.2021.

Analiza rada postrojenja za kondicioniranje vode u općini Ilijaš

Autori:

Prof.dr.sc. **Suvada Šuvalija**, dipl.ing.građ.

Sveučilište u Sarajevu, BiH

Građevinski fakultet

Odsjek za hidrotehniku i okolišno inženjerstvo

suvadashuvalija69@gmail.com

Autor za korespondenciju

**Nedžad Mekić**, dipl.ing.građ.

Ministarstvo privrede - Kanton Sarajevo, BiH

nedzadmekic@gmail.com

Stručni rad

Suvada Šuvalija, Nedžad Mekić

Analiza rada postrojenja za kondicioniranje vode u općini Ilijaš

U radu se analizira rad postrojenja za kondicioniranje vode "Karašnica", u sklopu vodoopskrbnog sustava općine Ilijaš u Bosni i Hercegovini. Opisane su i analizirane dvije različite linije kondicioniranja, i to prva linija koju čini unutrašnji kružni taložnik i brzi pješčani gravitacijski filtri te druga linija koju čini vanjski kružni taložnik i filtri pod tlakom. Kako bi se ispitala učinkovitost rada postrojenja, autori su obišli postrojenja, razgovorali sa zaposlenicima, istražili postojeću dokumentaciju i proveli dodatne fizikalno-kemijske i bakteriološke analize odgovarajućih uzoraka vode. Analizom svih raspoloživih podataka doneseni su odgovarajući zaključci i važne preporuke za učinkovitiji rad tog postrojenja.

Ključne riječi:

vodoopskrbni sustav, kondicioniranje vode, gravitacijski filter, filter pod tlakom, laboratorijske analize

Professional paper

Suvada Šuvalija, Nedžad Mekić

Analysis of Water Treatment Plant Operation in Ilijaš Municipality

The operation of the Karašnica Water Treatment Plant, forming part of the water system in Ilijaš Municipality, in Bosnia and Herzegovina, is analysed in the paper. Two distinct water treatment lines are described and analysed. The first line consists of an internal circular settling tank and rapid sand gravity filters, while the second line consists of an external circular settling tank and pressure filters. In order to evaluate operating efficiency, a tour of the system facilities was made, interviews with the employees were conducted, the existing documentation was examined, and additional physicochemical and bacteriological analyses of appropriate water samples were conducted. Following analysis of all available data, appropriate conclusions and significant recommendations were made toward more efficient operation of the water treatment plant.

Key words:

water supply system, water treatment, gravity filter, pressure filter, laboratory analyses

Fachbericht

Suvada Šuvalija, Nedžad Mekić

Analyse des Betriebs der Wasseraufbereitungsanlage in der Gemeinde Ilijaš

Das Papier analysiert den Betrieb der Anlage „Karašnica“ im Rahmen des Wasserversorgungssystems der Gemeinde Ilijaš in Bosnien und Herzegovina analysiert. Es werden zwei verschiedene Aufbereitungslinien beschrieben und analysiert: nämlich die erste Linie, die aus einem internen kreisförmigen Abscheider und schnellen Sandschwerkraftfiltern besteht, und die zweite Linie, die aus einem externen kreisförmigen Abscheider und Druckfiltern besteht. Um die Effizienz der Anlage zu untersuchen, haben die Autoren die Anlagen besichtigt, mit den Mitarbeitern gesprochen, die vorhandene Dokumentation eingesehen und zusätzliche physikalisch-chemische und bakteriologische Analysen geeigneter Wasserproben durchgeführt. Die Analyse aller verfügbaren Daten führte zu angemessenen Schlussfolgerungen und wichtigen Empfehlungen für einen effizienteren Betrieb der Anlage.

Schlüsselwörter:

Wasserversorgungssystem, Wasseraufbereitung, Schwerkraftfilter, Druckfilter, Laboranalyse

1. Uvod

Prirodna voda koja se koristi za vodoopskrbu (tzv. sirova voda) ima različite karakteristike koje ovise o njenom porijeklu, mjestu i vrsti zahvata. Sirova voda na vodozahvatu uglavnom sadrži pojedine fizikalno-kemijske i mikrobiološke pokazatelje u koncentracijama koje su veće od maksimalno dopuštenih koncentracija (MDK) prema Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće [1], pa se ne može upotrebljavati za piće bez odgovarajuće pripreme, odnosno kondicioniranja vode [2]. Sustav vodoopskrbe središnjeg dijela općine Ilijaš oslonjen je dugoročno na opskrbu vodom iz površinskog toka bujične rijeke Misoče preko tirolskog vodozahvata. Posljedica bujičnog tečenja je pojava velike mutnoće u kratkom vremenu [3], posebno nakon padalina, što izaziva pogoršanje kvalitete vode na vodozahvatu i otežava pripremu vode za piće, odnosno kondicioniranje vode na postrojenju [4].

Primjena konvencionalne tehnologije uobičajena je na postrojenjima za kondicioniranje površinskih voda. Ta tehnologija, pod uvjetom da je dobro isplanirana, projektirana i izvedena, uz pravilno upravljanje postrojenjem, daje zadovoljavajuće rezultate posebno u kondicioniranju površinskih voda bujičnog karaktera, kao što je slučaj s rijekom Misočom. Učinkovit rad već izgrađenih postrojenja zahtijeva i kontinuirano praćenje novih trendova i tehnologija, kako bi se zadovoljili sve stroži standardi i spriječilo sve izraženije onečišćavanje voda s izvorišta, osobito površinskih voda. Radi uvida u postojeće stanje vodoopskrbnog sustava i postrojenja za kondicioniranje u općini Ilijaš, obavljen je obilazak infrastrukture sustava, pregledana je raspoloživa dokumentacija (izvještaji, analize, projektna dokumentacija i sl.), te obavljen razgovor sa zaposlenicima - operaterima o iskustvima u dosadašnjem radu postrojenja [5, 6]. U drugom poglavlju ovoga rada dan je prikaz postojećeg stanja sustava i postrojenja "Karašnica". Osim toga, radi detaljnije analize učinkovitosti i funkcioniranja objekata postrojenja, a posebno taložnika i filtara, uzeti su dodatni uzorci vode prije ulaska vode u postrojenje, kao i nakon svakog pojedinačnog postupka, odnosno objekta kondicioniranja iz obje linije postrojenja. Provedene su dodatne fizikalno-kemijske i mikrobiološke analize uzetih uzoraka vode u referentnom laboratoriju Instituta za zdravlje i sigurnost hrane u Zenici. Prikaz laboratorijskih rezultata o provedenim dodatnim analizama donosi se u trećem poglavlju. Cilj rasprave o rezultatima provedenih analiza (četvrto poglavlje) bio je uvidjeti postojeće utjecaje rada objekata i mogućnosti daljnjeg poboljšanja rada cjelokupnog postrojenja. Iskustveni podaci o radu toga postrojenja, neka njegova loša iskustva, kao i ostvarena poboljšanja, mogu pomoći drugim sličnim postrojenjima s konvencionalnom tehnologijom prerade površinske vode, kako bi se iskoristili pozitivni utjecaji, a izbjegli ili ublažili negativni utjecaji [7]. Poboljšanje se prije svega odnosi na primjenu novih trendova i tehnologija, primjenu novih kemikalija, novih vodnih građevina, opreme i uređaja [8, 9]. Na osnovi provedenih analiza i rasprave, koje su obrađene u trećem i četvrtom poglavlju, u

zaključcima rada dane su smjernice s ciljem daljnjega poboljšanja rada postrojenja "Karašnica" u Ilijašu, a mogu predstavljati i opće smjernice za druga postrojenja koja primjenjuju tu ili slične tehnologije u sličnim uvjetima rada.

2. Vodoopskrbni sustav i postrojenje za kondicioniranje vode općine Ilijaš

2.1. Prikaz građevina i opreme vodoopskrbnog sustava općine Ilijaš

Vodoopskrba središnjeg dijela općine Ilijaš obavlja se preko sustava kojim upravlja JKP "Vodostan" d.o.o Ilijaš. Vodoopskrbni sustav se sastoji od sljedećih građevina i opreme (slika 1.):

- građevine izgrađene za potrebe zahvaćanja i predtretmana vode na rijeci Misoči
- transportnih cjevovoda (gravitacijskih i tlačnih)
- postrojenja za kondicioniranje / pripremu vode za piće "Karašnica" (dvije linije)
- vodospreme
- distribucijske mreže.

Ovdje će se opisati sve vodne građevine izgrađene uz vodozahvat.

Drenažni-filtracijski kanal je izgrađen neposredno uz desnu obalu rijeke Misoče, uzvodno od pregrade, s ciljem da se voda iz rijeke Misoče djelomično filtrira prije nego što se zahvati i dođe u pjeskolov.

Pregrada s malom akumulacijom na rijeci Misoči je prvo mjesto gdje započinje uklanjanje mutnoće, jer je izgradnjom male betonske pregrade na rijeci Misoči formirana zahvatna akumulacija koja ima ulogu povećanja dubine na zahvatu te umirenja toka i taloženja riječnog nanosa [3].

Tirolski vodozahvat se sastoji od betonskog pravokutnog kanala postavljenog okomito na riječni tok u koji se preko pregrade prelijeva voda, a na kanalu je postavljena gruba rešetka pomoću koje se odstranjuje lišće i krupnije plivajuće tvari [4]. Voda iz betonskog pravokutnog kanala doprema se u pjeskolov koji se nalazi neposredno uz vodozahvat.

Pjeskolov je izveden kao betonska građevina koja prihvaća određenu količinu vode dovedenu iz tirolskog vodozahvata i drenažnog filtracijskog kanala, te se u njemu zbiva proces taloženja dijela suspendiranih čestica. Pjeskolov omogućuje nesmetano priključenje transportnog gravitacijskog cjevovoda profila DN 400.

Transportni gravitacijski cjevovod profila DN 400 ukupne dužine $L = 4,3$ km, transportira sirovu vodu od vodozahvata, odnosno pjeskolova, do crpne stanice u naselju Misoča.

Crpna stanica prihvaća vodu iz transportnog gravitacijskog cjevovoda i s dva crpna agregata dalje ju odvodi tlačnim cjevovodom do postrojenja za kondicioniranje na brdu Karašnica. Zadatak je crpki dopunjavati taložnike (prve i druge linije) i održavati konstantnu razinu vode u njima, bez obzira na brzinu rada filtara.

Postrojenje za kondicioniranje "Karašnica" jest najsloženiji element sustava vodoopskrbe i najvažniji s obzirom na osiguranje kvalitete vode i zaštite zdravlja korisnika.

U pogonskoj zgradi postrojenja (središnjem objektu) nalazi se kontrolna soba. U njoj se koristi sustav SCADA (eng. *Supervisory Control and Data Acquisition*). To je sustav za automatizirano praćenje kvalitete i kontrolu rada cijelog vodoopskrbnog sustava i postrojenja [5, 7]. Svrha tog sustava jest mjerenje, nadzor i kontrola rada, te daljinsko upravljanje radom crpki, filtracijom i razinama vode u vodospremama i drugim elementima, odnosno bitnim parametrima za učinkovit rad sustava. Upravitelj vodoopskrbnog sustava u segmentu kvalitete vode implementirao je tzv. *HACCP Codex Alimentarijus standard*, kao standard o dobroj proizvođačkoj i dobroj higijenskoj praksi, radi isporuke zdravstveno ispravne vode kranjim korisnicima [5].

Sustav procesne opreme sastoji se od crpne stanice za filtriranu vodu za visinska područja općine, trafostanice, agregata, opreme za osiguranje rada sustava za doziranje kemikalija (za dezinfekciju, koagulaciju i flokulaciju), miješalice za koagulant/flokulant i druge opreme.

Sustav vodosprema – za kontinuiranu i sigurnu vodoopskrbu (preko distribucijske mreže) stanovništva i privrede općine Ilijaš te pouzdan rad postrojenja u sklopu vodoopskrbnog sustava osigurana je zalihama vode u sljedećim vodospremama:

- vodosprema "Brdo Karašnica I" ($V = 600 \text{ m}^3$),
- vodosprema "Brdo Karašnica II" ($V = 3000 \text{ m}^3$ ($2 \times 1500 \text{ m}^3$)),
- vodosprema "Hamzin gaj III" ($V = 1000 \text{ m}^3$),
- vodosprema za pranje filtera ($V = 100 \text{ m}^3$).

Distribucijska mreža sastoji se od distribucijskih cjevovoda različitih profila raspoređenih u dvije visinske zone s dosta crpnih stanica za osiguranje tlaka u mreži. Tako koncipiran vodoopskrbni sustav stvara gubitke vode u distribucijskoj mreži koji, prema izvještaju javnog operatera, iznose i do 40 posto [10]. Takav sustav, u kojem se tlak stvara pomoću crpki, ima veliku potrošnju energije i učestalije kvarove. Kako bi se smanjili gubitci u mreži, 2015. godine instaliran je računalni program kojim se

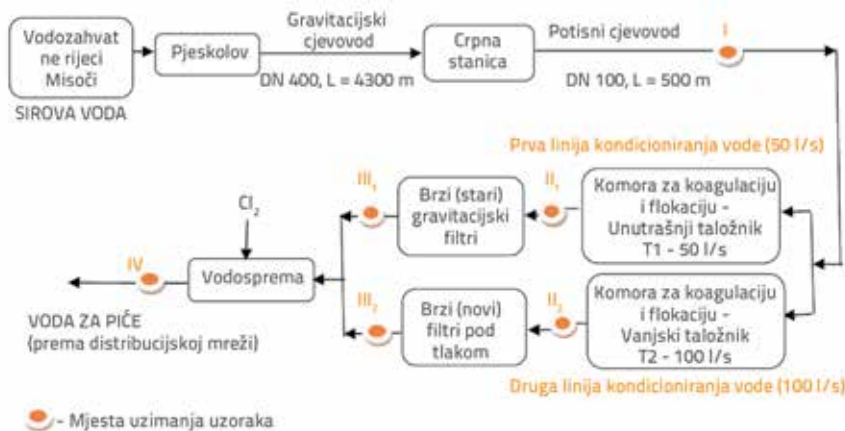
obavlja kontrola očitavanja potrošnje, kontrola protoka u pojedinim zonama te kontrola regulacije tlaka. Na temelju kreirane baze podataka mjerenja i njihovom obradom utvrđuju se lokaliteti s većim gubitcima u mreži i na taj način se lociraju dionice u distribucijskoj mreži na kojima se treba obaviti rekonstrukcija cjevovoda i sanirati gubici. Takav pristup smanjenja gubitaka u mreži treba biti primjer i drugim upraviteljima vodoopskrbnih sustava da prihvate takvu metodologiju smanjenja gubitaka i praćenja funkcioniranja sustava radi postizanja njegove veće održivosti [11].

2.2. Tehnologija kondicioniranja vode u postrojenju "Karašnica"

Kvaliteta sirove vode na izvorištu rijeke Misoče ne zadovoljava neke parametare koje propisuje Pravilnik [1], pa upravitelj postrojenja JKP "Vodostan" Ilijaš obavlja kondicioniranje vode. Postupak započinje na površinskom vodozahvatu na rijeci Misoči, uz koji su izgrađene građevine čija je funkcija zahvaćanje vode i odgovarajući predtretman radi rastrećenja postrojenja. Kondicioniranje vode nastavlja se na postrojenju "Karašnica" kapaciteta 150 l/s. Blok-shema tehnologije prerade vode uz vodozahvat i na postrojenju prikazana je na slici 1.

Postrojenje za kondicioniranje vode "Karašnica" općine Ilijaš sastoji se od građevina u kojima se odvija konvencionalna tehnologija pripreme vode za piće pomoću koagulacije, flokulacije, taloženja, filtracije i dezinfekcije [12]. Specifičnost tog postrojenja jest u dvjema uspostavljenim linijama prerade koje rade usporedno, a linije se razlikuju po različitim načinima filtracije vode. Druga linija je izgrađena naknadno zbog povećanih potreba za vodom (slika 1.). S obzirom na to, prerada vode u tom postrojenju obavlja se na sljedeći način:

- Prvu liniju (kapaciteta 50 l/s) čini koagulacija/flokulacija u komori koja je smještena uz unutrašnji kružni taložnik, te filtracija na brzim pješčanim gravitacijskim filterima.
- Drugu liniju (kapaciteta 100 l/s) čini koagulacija/flokulacija u komori koja je smještena uz vanjski kružni taložnik, te filtracija u vertikalnim cilindričnim posudama pod tlakom.



Slika 1. Blok-shema tehnologije kondicioniranja vode vodoopskrbnog sustava općine Ilijaš

Postupci prerade vode i opisi objekata postrojenja "Karašnica" objašnjeni su kako slijedi:

- *Koagulacija i flokulacija* su operacije koje se odvijaju u integriranim koagulacijskim i flokulacijskim komorama koje su izgrađene uz kružne taložnike (slika 1.). U upotrebi je, umjesto prethodno korištenog aluminijevsulfata i polielektrolita – poliakrilamida (PAA), novi koagulant/flokulant polialuminijev klorid (PAC). Prema tvrdnjama zaposlenika u postrojenju, PAC se pokazao vrlo učinkovitim [13].



Slika 2. Kružni taložnici u sklopu postrojenja "Karašnica": a) Unutrašnji taložnik (T1) kapaciteta 50 l/s; b) Vanjski taložnik (T2) kapaciteta 100 l/s

Naime, PAC, polivalentni neorganski polimer visokog zeta potencijala, ima niz prednosti u odnosu na ALUM i PAA: djeluje i kao koagulant i kao flokulant, regulira pH-vrijednost, omogućava jednostavniju manipulaciju, manji je maseni utrošak, pa i znatno manja količina taloga/mulja, učinkovitije i brže uklanjanja zamućenje vode. Osim toga, primjena PAA je potencijalna opasnost, jer u većim koncentracijama djeluje kao kumulativni neurotoksin i otežava pranje filtara.

Taloženje - tijekom pripremanja vode za piće, da bi se iz vode izdvojile flokule stvorene koagulacijom i flokulacijom, primjenjuju se dva kružna taložnika s vertikalnim tokom vode ukupnog kapaciteta 150 l/s (slika 2). Unutrašnji taložnik (T1) Prve linije prerade ima kapacitet 50 l/s i smješten je u središnjem objektu, a drugi je vanjski otvoreni taložnik (T2) Druge linije, kapaciteta 100 l/s. Nakon što se dovrši proces bistrenja, voda se doprema sustavom crpki na proces filtracije.

Filtracija vode na postrojenju "Karašnica" obavlja se preko dva filterska sustava. Ti sustavi prikazani su na slici 3., a u tablici 1. dan je prikaz osnovnih karakteristika tih filtara. U sklopu prve linije prerade (slika 1.), riječ je o sustavu filtracije na brzim gravitacijskim filtrima ukupnog kapaciteta 50 l/s. Ti filtri su smješteni u zatvorenom središnjem objektu, a u njih ulazi voda s unutrašnjeg taložnika (T1). Gravitacijski filtri imaju ispunu od kvarcnog pijeska, promjera zrna 0,5-1,2 mm i debljine sloja

100 cm. Izgrađena su tri filterska polja, a površina jednog polja je 20 m², pa je ukupna površina gravitacijskih filtara 60 m². Filtracija vode u filtrima pod tlakom je novouvedeni način filtracije na postrojenju "Karašnica". Istaložena voda s vanjskog taložnika T2 (slika 1. (druga linija)) dovodi se na šest vertikalnih filterskih posuda-modula, radnog kapaciteta od po 7 l/s do 20 l/s, koji se reguliraju ručnim ili automatskim zatvaračem. Prilikom pranja filterskih posuda, zatvarač se sam zatvara kako ne bi došlo do kontaminacije vode u vodospremi [14]. Filtri su izrađeni od čelika namijenjenog za posude pod tlakom, s odgovarajućom obostranom antikoroziivom zaštitom [5]. Filterska ispuna, koju čini kvarcni pijesak i garnet, ukupne je debljine 120 cm. Garnet između nosive i filterske ispune eliminira problem prevrtanja šljunka i poremećaj ispune pri pranju filtara pod tlakom.

Sustav za dezinfekciju vode - dezinfekcija vode obavlja se elementarnim plinovitim klorom, a sustav se sastoji od klorne stanice s pratećom opremom, dozatorom klora i skladištem klornih boca, koje se nalazi u sklopu središnjeg objekta. Klorna stanica je potpuno automatizirana. Kloriranje vode obavlja se kroz sustav projektiran na način da je klorna instalacija pod vakuumom, kako bi se onemogućilo da, uslijed eventualnog oštećenja instalacije, dotrajalošći uređaja, lošeg prianjanja ili zbog drugih razloga, dođe do ispuštanja klora i nastajanja

Tablica 1. Karakteristike gravitacijskih i filtara pod pritiskom postrojenja "Karašnica"

Karakteristike filtara	Jedinica mjere	Filtri pod tlakom	Gravitacijski filtri
Kapacitet filtara	l/s	100	50
Stvarna brzina filtracije	m/h	12,22	9,0
Utrošak vode za pranje filtara	m ³ /god	10.950	9.700
Broj pranja filtara	mjesečno	6	8
Visina ispune kvarcnim pijeskom	cm	120	100
Površina jednog filtara	m ²	4,91	20
Ukupna površina filtara	m ²	(6 x 4,91) = 29,46	3 x 20 = 60



Slika 3. Filtri u sklopu postrojenja "Karašnica": a) gravitacijski filtar; b) filtri pod tlakom i građevina u kojem se nalaze

neželjenih posljedica. Injektor je konstruiran sa nepovratnim ventilom kako bi se spriječio ulazak vode u vakuumsku instalaciju.

3. Laboratorijska ispitivanja uzoraka vode

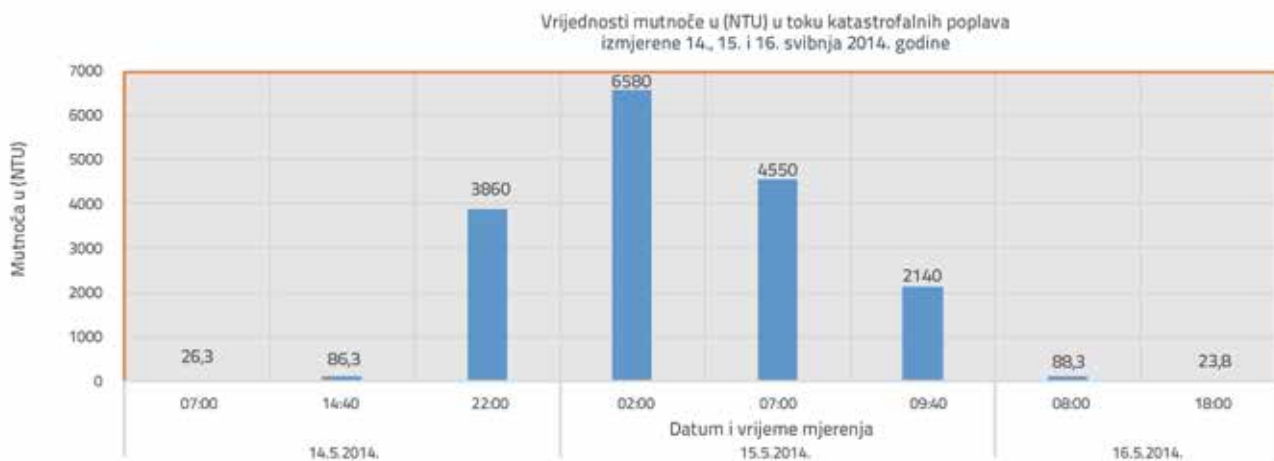
3.1. Kvaliteta sirove vode na površinskom vodozahvatu rijeke Misoče

Monitoring kvalitete vode izvorišta je nužan i obavezan kako bi se korisnicima kontinuirano isporučivala voda kvalitete u skladu s Pravilnikom [1]. Kao što je prethodno i napomenuto, na zahvatu rijeke Misoče se često javlja povećana mutnoća s obzirom na njen bujični karakter [3]. Prema podacima upravitelja JKP "Vodostan" d.o.o Ilijaš, do sada najveća izmjerena mutnoća iznosila je 8290° NTU [14]. Trajanje i vrijednosti mutnoće vode rijeke Misoče u periodu katastrofalnih poplava (padalina) u BiH koje su se dogodile u svibnju 2014. prikazani su na slici 3.

Odnosi mutnoće, protoka i ostalih parametara kakvoće vode navedeni su u tablici 2. Ona prikazuje pregled prosječnih

vrijednosti nekih fizikalno-kemijskih parametara vode izvorišta (vodotok Misoča 2006. do 2016.) kroz kišni i sušni period [5]. Veća mutnoća u kišnom periodu pogoršava opću kvalitetu vode, njezin fizikalno-kemijski sastav (tablica 2., stupci 2 i 3) i otežava procese kondicioniranja vode. Naime, na česticama koje uzrokuju mutnoću (suspendirane i koloidne) zadržavaju se razne primjese (mikroorganizmi, rastopljene tvari i sl.) koje negativno utječu na fizikalno-kemijske karakteristike vode. Cilj je bistrenjem vode postići maksimalan iznos od 20 NTU, kako bi filtri ispravno radili (tablica 3., zadnji redak) [5, 6]. S tim u vezi, kod ekstremnih mutnoća se smanjuje dotok na taložnike (20 do 40 %) odgovarajućom regulacijom zatvarača ili se dotok potpuno zatvara.

JKP "Vodostan" Ilijaš nema akreditirani laboratorij koji može obavljati sve propisane analize vode prema Pravilniku [1], pa se kontrola kvalitete vode, koja se nakon prerade distribuira potrošačima, obavlja u certificiranom laboratoriju u Institutu za zdravlje i sigurnost hrane u Zenici. JKP "Vodostan" Ilijaš je uspostavilo priručni/pogonski laboratorij i obavlja samo neke kontrole koje su važne za funkcioniranje postrojenja, kao što je primjerice mutnoća vode.



Slika 4. Dijagram rasta i opadanja mutnoće sirove vode na mjernom mjestu ispred postrojenja "Karašnica"

Tablica 2. Prosječne vrijednosti osnovnih pokazatelja kvalitete vode rijeke Misoče (2006.-2016.) [5]

Fizikalno - kemijski pokazatelji (mjerne jedinice)	Kišni period	Sušni period	MDK vrijednost [1]	NAPOMENA: hidrološki uvjeti - kvaliteta vode
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Protok (l/s)	80 - 150	80 - 150	-	KIŠNI PERIOD: Uglavnom nakon jačih padalina i topljenja snijega (visok vodostaj); SUŠNI PERIOD: Uglavnom bez padalina u dužem razdoblju (nizak vodostaj)
pH vrijednost (-)	7,5 - 8,0	8,0 - 8,24	6,5 - 9,5	
Elektroprovodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$)	250	305	2500	
Nitrati (mg/l)	4,4	2,3	50	
Amonijak (mg/l)	0,03	0,0	0,5	
Utrošak KMnO_4 (mg/l)	2,0	1,1	5,0	
Sulfati (mg/l)	34	14	250	
Fosfati (mg/l)	0,05	0,03	0,3	
Željezo ($\mu\text{g}/\text{l}$)	10	10	200	
Bakar ($\mu\text{g}/\text{l}$)	0,04	0,03	2	
Mutnoća (NTU)	100 - 500	5 - 10	1	uvjet za uspješnu filtraciju
Mutnoća nakon bistenja (NTU)	7 - 40	0,5 - 10	(20)	

Tablica 3. Rezultati fizikalno-kemijskih analiza uzetih uzoraka vode [15, 16]

Parametar ispitivanja	Jedinica mjere	Referentna vrijednost (Pravilnik [1])	Mjerna mjesta uzoraka (označena na slici 1.)					
			I	II ₁	II ₂	III ₁	III ₂	IV
			Ulazak u stanicu	Iza unutrašnjeg taložnika T1	Iza vanjskog taložnika T2	Iza brzih gravitacijskih filtera	Iza filtra pod tlakom	Vodosprema voda za piće
<i>Rezultati prvog ispitivanja na dan 5. veljače 2019.</i>								
Boja	SkalaPt-Co	bez	5°	5°	bez	bez	bez	bez
Miris	-	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez
Mutnoća	°NTU	1	18	5,2	4,40	0,32	1,0	0,25
pH-vrijednost na 25°C	pH	6,5-9,5	7,81	7,67	7,18	7,29	7,78	7,66
Utrošak KMnO_4	mg/l O_2	5,0	3,80	2,0	2,0	1,52	1,76	1,60
Rezidualni klor	mg/l	0,5	0	0	0	0	0	0,2
Kloridi	mgCl/l	250	5,50	5,50	9,0	5,0	10,0	4,00
Amonijak	mgNH ₄ /l	0,5	0,114	0,084	0,089	0,075	0,076	0,058
Nitriti	mgNO ₂ /l	0,5	0	0	0	0	0	0
Nitrati	mgNO ₃ /l	50	2,944	2,656	3,453	3,249	3,409	3,462
Elektrop.na 25 °C	$\mu\text{S}/\text{cm}$	2500	314,2	299,80	310,50	331,10	295,5	307,40
<i>Rezultati drugog ispitivanja na dan 21. svibnja 2019.</i>								
Boja	SkalaPt-Co	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez
Miris	-	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez
Mutnoća	NTU	1	5,6	2,6	3,2	0,14	0,9	0,14
pH vrijed. na 25°C	pH	6,5-9,5	8,13	8,03	8,01	8,04	8,08	8,01
Utrošak KMnO_4	mg/l O_2	5,0	1,52	1,76	1,60	1,36	1,44	1,36
Rezidualni klor	mg/l	0,5	0	0	0	0	0	0,2
Kloridi	mgCl/l	250	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Amonijak	mgNH ₄ /l	0,5	0,112	0,057	0,084	0,079	0,064	0,050
Nitriti	mgNO ₂ /l	0,5	0	0	0	0	0	0
Nitrati	mgNO ₃ /l	50	1,244	1,355	1,687	1,483	1,394	1,572
Elektrop.na 25 °C	$\mu\text{S}/\text{cm}$	2500	343,8	350,20	352,20	351,6	365,6	355,90

Tablica 4. Rezultati mikrobioloških analiza uzoraka vode [17]

Parametar ispitivanja	Jedinica mjere	Referentna vrijednost ([1])	Mjerna mjesta uzoraka (označena na slici 1.)					
			I	II ₁	II ₂	III ₁	III ₂	IV
			Ulazak u stanicu	Iza unutrašnjeg taložnika T1	Iza vanjskog taložnika T2	Iza brzih gravitacijskih filtara	Iza filtara pod tlakom	Vodosprema voda za piće
<i>Rezultati prvog ispitivanja na dan 21. svibnja 2019.</i>								
Ukupan broj koliformnih bakterija	Cfu/100 ml	bez	80	30	30	0	8	0
Broj bakterija escherichia coli	Cfu/100 ml	bez	70	30	30	0	8	0
Ukupan broj fekalnih streptokoka (enterokoka)	Cfu/100 ml	bez	30	10	25	0	0	0
Ukupan broj aerobnih mezofilnih bakterija	Cfu/ ml	100/ml	140	80	150	5	60	0
Ukupan broj aerobnih mezofilnih bakterija	Cfu/ ml	20/ml	110	10	110	0	10	0

3.2. Rezultati fizikalno-kemijske i mikrobiološke analize uzoraka vode

Zbog analize utjecaja rada postrojenja i pratećih objekata, potrebno je provoditi monitoring i u sklopu samog postrojenja, a ne samo na ulazu (vode izvorišta – sirove vode) i izlazu (u distribucijskoj vodospremi), što je nažalost uobičajena praksa. S tim u vezi, ovim istraživanjima provedeno je dodatno uzorkovanje i nakon operacija taloženja i filtriranja prve i druge linije kondicioniranja vode u sklopu postrojenja. Na blokshemi (slika 1. i tablica 3.) naznačena su mjesta uzimanja uzoraka za potrebe analiziranja učinkovitosti pojedinačnih operacija prerade vode (I, II₁, II₂, III₁, III₂, IV). Uzorci su uzeti u dva različita vremenska intervala, u zimskom (veljača 2019.) i proljetnom (svibanj 2019.). Dobiveni rezultati su uspoređeni, a na osnovi toga su doneseni određeni zaključci koji su opisani u četvrtom poglavlju. Rezultati analiza prikazani su u tablici 3. [15, 16]. S ciljem utvrđivanja kvalitete vode s aspekta prisutnosti mikroorganizama u vodi za drugo ispitivanje, koje je obavljeno 21. svibnja 2019., uz fizikalno-kemijsku analizu provedena su i mikrobiološka ispitivanja (tablica 4.) [17].

Četvrto poglavlje donosi raspravu o rezultatima dobivenih fizikalno-kemijskom i mikrobiološkom analizom uzoraka (tablice 3. i 4.), posebno iz aspekta učinkovitosti rada postrojenja. Također, dan je osvrt na vrijednosti izmjerenih karakterističnih parametara kvalitete, važnih za analizu učinkovitosti postupaka taloženja, filtriranja i dezinfekcije vode.

4. Rasprava

4.1. Analiza laboratorijskih rezultata

Rezultati laboratorijskih analiza uzoraka vode (tablice 3. i 4.) koji su uzeti na mjestu prije ulaska u postrojenje, kao i na mjestima poslije pojedinačnih postupaka u obje linije u sklopu postrojenja (slika 1.), pokazatelj su učinkovitosti uspostavljenog

sustava kondicioniranja vode na postrojenju "Karašnica". Na osnovi rezultata analize može se zaključiti to da postrojenje radi zadovoljavajuće, jer su svi parametri kvalitete vode na izlazu iz postrojenja (u vodospremi čiste vode – mjerno mjesto IV, tablice 3. i 4.) u granicama dopuštenih vrijednosti propisanih Pravilnikom [1]. Osim toga, ovdje slijedi analiza laboratorijskih rezultata nekih parametara, koji se znatnije mijenjaju u procesima prerade vode, a važniji su za praćenje učinkovitosti rada postrojenja.

Mutnoća vode

Analizirajući rezultate izmjerene mutnoće, što je obavljao upravitelj JKP "Vodostan" Ilijaš [10, 14], utvrđeno je da vrijednost mutnoće brže raste, ali i brže opada u periodu padalina poslije dužih sušnih perioda. Nasuprot tome, treba istaknuti da je za vrijeme dugotrajnog kišnog perioda iz mjeseca svibnja 2014. godine, mutnoća sporije rasla i sporije opadala kao što se može vidjeti na slici 4. To su ekstremne vrijednosti mutnoće i tada se postrojenje isključuje iz rada sve dok se mutnoća ne vrati u dopuštene vrijednosti, a prema podacima upravitelja to je mutnoća manja od 40 °NTU na ulazu u postrojenje, a manja od 20 NTU na ulazu u filtre (tablica 2.). Prosječna mutnoća sirove vode prije ulaska u stanicu Karašnica uvijek je iznad MDK, koja iznosi 1,0 °NTU. Tako je, primjerice tijekom 2017. godine prosječna izmjerena mutnoća sirove vode prije ulaska u stanicu Karašnica iznosila 21,82 °NTU [10].

Provedenim dopunskim mjerenjima iz 2019. [15, 16], mutnoća na ulazu u postrojenje također je bila iznad maksimalno dopuštenih vrijednosti MDK (tablica 3.), a dobivena mutnoća u vodospremi bila je u granicama koje su propisane Pravilnikom [1]. Detaljniji prikaz načina promjene mutnoće u sklopu postrojenja dan je poglavlju 4.2.

Potrošnja kalijeva-permanganata

Potrošnja kalijeva-permanganata (KMnO₄) djelomice je mjerilo količine organskih tvari u vodi. Naime, ako se u sirovoj

vodi nađu organske tvari, tada će one utrošiti određenu količinu KMnO_4 za svoju oksidaciju. Prisutnost organskih tvari je neprihvatljiva ako se dezinfekcija vode namijenjena za piće obavlja plinovitim elementarnih klorom, zato jer postoji mogućnost nastajanja kancerogenih nusproizvoda, primjerice trihalometana (THM) [4, 12]. Prema Pravilniku [1], voda može imati utrošak KMnO_4 do 5 mg/l O_2 (tablica 3.). Laboratorijskim analizama uzoraka uzetih 5. veljače 2019. i 21. svibnja 2019., ustanovljeno je to da je potrošnja KMnO_4 ispod dopuštenih koncentracija. Najveća potrošnja KMnO_4 pojavila se nakon taloženja (mjerna mjesta II1 i II2) u iznosu $T1 = T2 = 2,0$ (mg/l O_2), što je vjerojatno posljedica izdvajanja organskih tvari u talog.

Amonijak u površinskim vodama

Amonijak u vodi je indikator bakterijske aktivnosti, tj. pokazuje da je onečišćenje vode svježije, i da se zbiva mikrobna razgradnja organskih tvari koje sadrže dušik. Iz analiza može se zaključiti da su u uzetim uzorcima vode utvrđene niske koncentracije amonijaka i da je najveća izmjerena vrijednost u sirovoj vodi iznosila je 0,114 mg NH_4 /l, a u vodospremi u koju se doprema prerađena voda, vrijednost amonijaka iznosila 0,058 mg NH_4 /l. Izmjerene koncentracije amonijaka su manje od MDK od 0,5 mg NH_4 /l, prema Pravilniku [1] (tablica 3.), što pokazuje da su onečišćenja u kojima se pojavljuje amonijak u vrijeme mjerenja bila vrlo mala.

Elektroprovodljivost

Elektroprovodljivost je sposobnost promatranog uzorka vode da provodi električnu energiju. Otopine anorganskih spojeva relativno su dobri provodnici, dok su molekule organskih spojeva, koje se ne razlažu u vodenoj otopini, vrlo slabi provodnici [12]. U tablici 3. prikazani su podaci o elektroprovodljivosti na 25 °C ispred i u sklopu postrojenja. Iz rezultata dobivenih laboratorijskim analizama poslije svih provedenih postupaka kondicioniranja vode na postrojenju, elektroprovodljivost je nekoliko puta manja od MDK [1]. Ipak, izmjerena koncentracija od 343,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na 25 °C u sirovoj vodi prije ulaska u stanicu upozorava na postojanje određene koncentracije jona nastalih otapanjem anorganskih spojeva.

Rezultati mikrobiološke analize

Iz rezultata dobivenih mikrobiološkim analizama koje su prikazane u tablici 4, može se zaključiti da u tlačnom cjevovodu na ulazu u postrojenje, tj. u sirovoj vodi, ukupan broj koliformnih bakterija, broj ešerihija (*escherichie coli*), broj fekalnih streptokoka (*enterokoka*), broj aerobnih mezofilnih bakterija i broj aerobnih mezofilnih bakterija prelazi dopuštene vrijednosti koncentracije propisane Pravilnikom [1]. Ipak, nakon postupaka bistrenja, filtracije i dezinfekcije u vodospremi za distribuciju njihov broj je jednak nuli, što upućuje na djelotvoran proces dezinfekcije, to jest nizak mikrobiološki rizik.

4.2. Analiza rada postrojenja

Predtretman površinske vode

Treba istaknuti kako je preduvjet dobrog rada postrojenja dobra kvaliteta vode na izvorištu, kao i dobar predtretman uz samo izvorište. Budući da je u ovom slučaju izvorište površinska voda bujičnog karaktera, učinkovitost predtretmana je iznimno važna. Građevine u kojima se obavlja predtretman vodoopskrbnog sustava su drenažni filtracijski kanal, pregrada, rešetka i pjeskolov u sklopu vodozahvata (prethodno objašnjeni u poglavlju 2.2). Te građevine trebaju biti uvijek redovito održavane u smislu očuvanja njihovog kapaciteta (kako ne bi došlo do začepjenja i kolmacije suspenzijama), a kako bi se nizvodni postupci prerade na postrojenju rasteretili, što bi značilo učinkovitije nizvodne procese i općenito ekonomičniji sustav (manju potrošnju kemikalija, te manju potrošnju vode za pranje filtera i održavanje svih objekata postrojenja i sl).

Na temelju dopunskih mjerenja provedenih u sklopu samog postrojenja [15-17] može se pratiti utjecaj taloženja i filtriranja u postrojenju. Slika 5. prikazuje način promjene mutnoće vode u sklopu postrojenja.

Rad taložnika

Priprema vode za postupak taloženja počinje doziranjem PAC-a u komori za miješanje koja se nalazi uz taložnik, a zatim se obavlja postupak taloženja vode na dvije uspostavljene linije.

Na prvoj liniji taloženje se obavlja preko unutrašnjeg taložnika T1. Taložnjem vode na unutrašnjem taložniku T1 (mjerno mjesto II1, slika 1.; prva linija, slika 5.), ulazna mutnoća iz uzorka uzetog 5. veljače 2019. smanjena je s ulaznih 18 °NTU na 5,2 °NTU, pa je taložnik T1 uklonio 12,8 °NTU. Mutnoća iz uzorka uzetog 21. svibnja 2019. smanjena je s ulaznih 5,6 °NTU na 2,6 °NTU, pa je taložnik T1 u ovom slučaju uklonio 3,0 °NTU. Uočljiva je razlika učinkovitosti taložnika T1 za različitu ulaznu mutnoću, jer je u prvom slučaju uklonjeno 12,8 °NTU, a u drugom 3,0 °NTU. Naravno, ovo je rezultat dodatne količine PAC-a, koja se dodaje u skladu s veličinom mutnoće influenta [13]. Naime, veća ulazna mutnoća traži i veću količinu kemikalija, pa je s tim u vezi i veće smanjenje mutnoće pri mjerenju 5. veljače 2019., kada je ulazna mutnoća iznosila 18 °NTU.

Na drugoj liniji taloženje se obavlja preko vanjskog taložnika T2. Taložnjem vode na vanjskom taložniku T2, ulazna mutnoća iz uzorka uzetog 5. veljače 2019. smanjena je s ulaznih 18 °NTU na 4,4 °NTU, pa je taložnik T2 uklonio 13,6 °NTU (slika 5.). Mutnoća iz uzorka uzetog 21. svibnja 2019. smanjena je s ulaznih 5,6 na 3,2 °NTU, pa je taložnik T2 u ovom slučaju uklonio 2,4 °NTU. Veća učinkovitost taložnika T2 u slučaju prvog uzorka (mutnoća 18 °NTU), analogno, kao i kod taložnika T1 posljedica je veće količine dodane kemikalije (PAC-a).

Prosjeck obaranja mutnoće unutrašnjeg taložnika T1 (12,8 i 3,0 °NTU) iznosi 7,9 °NTU, a vanjskog T2 (13,6 i 2,4 °NTU) iznosi 8,0 °NTU. Prema tome, može se zaključiti kako su oba taložnika približno jednako učinkovita u smanjenju mutnoće vode.

Rad filtra

Konvencionalna tehnologija podrazumijeva uz taloženja i primjenu brzih filtara. Učinkovitost filtara uvjetovana je učinkovitošću taložnika, pa bi izbistrena voda trebala imati mutnoću manju od 20 NTU (tablica 2.).

Na prvoj liniji filtracija se obavlja preko gravitacijskih filtara. Za uzorak od 5. veljače 2019. na mjernom mjestu III1 (slika 1.) mutnoća se smanjila s 5,2 na 0,32 °NTU (slika 5.). Ukupno smanjena mutnoća je 4,88° NTU. Za uzorak uzet 21. svibnja 2019. mutnoća je smanjena s 2,6 na 0,14 °NTU, pa je ukupno smanjena mutnoća za 2,46 °NTU.

Na drugoj liniji filtriranje se obavlja preko šest filtara pod tlakom. Za uzorak od 5. veljače 2019. na mjernom mjestu III2 (slika 1.) nakon filtracije mutnoća je sa 4,4 °NTU smanjena na 1,0 °NTU (slika 5.). Ukupno smanjena mutnoća za prvi uzorak iznosi 3,4 °NTU. Za uzorak uzet 21. svibnja 2019. nakon filtriranja mutnoća je smanjena s 3,2 na 0,09 °NTU. Ukupno smanjenje mutnoće filtriranjem za drugi uzorak na filtrima pod tlakom iznosi 3,11 °NTU.

Usporedbom vrijednosti uklonjenih mutnoća gravitacijskim i filtrima pod tlakom može se uočiti kako je gravitacijski filter nešto učinkovitiji u smanjivanju mutnoće. Prosjek smanjenja mutnoće gravitacijskim filtrima iznosi 3,67 °NTU, a filtrima pod tlakom 3,26 °NTU. Analizom rada tih novih filtara može se zaključiti kako bi oni trebali biti učinkovitiji. S tim u vezi preporuka je provjeriti projektne kriterije tih filtara, ponajprije regulaciju rada i karakteristiku ispune (granulaciju i visinu).

Na temelju provedene analize filtara (tablica 1.) [2, 12] i nekih iskustvenih podataka o tome postrojenju, ali i o drugima sličnima, u primjeni gravitacijskih filtara i filtara pod tlakom postoje i prednosti i nedostaci. Brzi gravitacijski filtri imaju prednosti u odnosu na filtre pod tlakom u sljedećem:

- bolja je kvaliteta filtrirane vode,
- jeftiniji su za održavanje,

- dugotrajniji su,
- zadovoljavajuće iskustvo u dosadašnjoj praksi,
- dobra kontrola rada i čišćenja filtra.

Nedostaci gravitacijskih filtara su sljedeći:

- zauzimaju veći prostor,
- potrebna češća regeneracija ispune filtara,
- veći hidraulički gubici u filtru,
- složenije i duže ispiranje filtara (voda i voda+zrak).

Filtri pod tlakom imaju prednost u odnosu na brze gravitacijske filtre u sljedećem:

- veća je brzina filtracije što povećava količinu prerađene vode,
- prostorni obuhvat je manji i imaju prednost kod nedostatka prostora za gradnju,
- manja je potrošnja vode za pranje filtara,
- djelomično je automatiziran proces,
- manja količina filterske ispune pa je njena zamjena jeftinija,
- jeftinija instalacija,
- lakša prilagodba različitim cijevnim mrežama.

Nedostaci filtara pod tlakom su sljedeći:

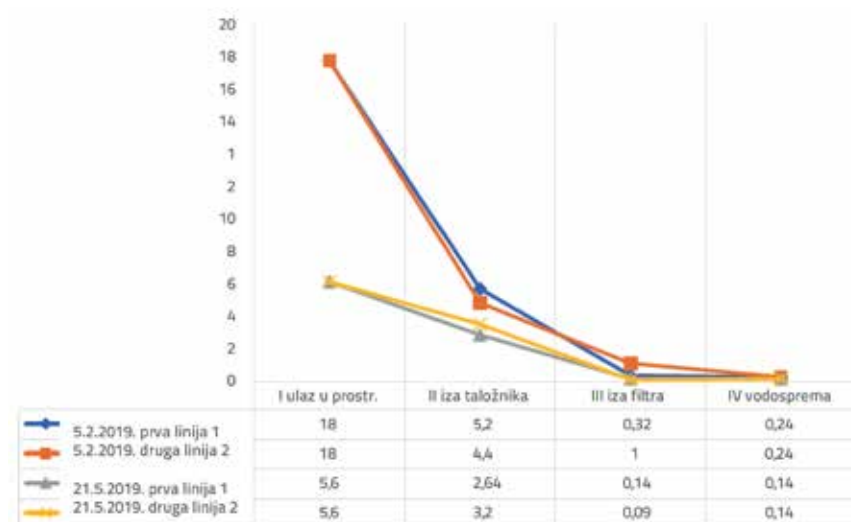
- teško se kontrolira proces filtriranja zbog zatvorenih posuda,
- prilikom pranja dolazi do remećenja slojeva ispune ako je tlak vode visok,
- otežana je kontrola čišćenja filtara,
- nisu učinkoviti za filtraciju sirove vode veća onečišćenja (mutnoće).

Potrošnja vode za vlastite potrebe postrojenja

Prema Izvješčaju JKP "Vodostan" d.o.o. Ilijaš [10] iz 2017. godine, za potrebe središnjeg dijela općine Ilijaš (7.347 stanovnika i 474 gospodarska subjekta) zahvaćeno je 1.899.808 kubičnih metara vode, od čega je 1.542.411 kubika vode distribuirano u vodovodnu mrežu, a 357.397 m³, od ukupno zahvaćene vode,

utrošeno je za potrebe održavanja i funkcioniranja postrojenja (za pranje filtara, taložnika, posuda za kemikalije i sl.), što je 18,81 posto i predstavlja znatnu količinu. To je potrošnja za vlastite potrebe postrojenja, a njena uobičajena vrijednost iznosi od 5 do 10 posto od ukupnog kapaciteta postrojenja [12].

Dezinfekcija je automatizirana i obavlja se elementarnim plinovitim klorom (dodavanjem na ulazu u vodospremu), pri čemu se trebaju uzeti u obzir sve mjere zaštite i odgovarajući propisi [6]. Treba napomenuti to da, s obzirom na korištenje plinovitog klora, postoji mogućnost nastajanja štetnih nusproizvoda dezinfekcije zbog reakcije klora s organskom tvari. Plinoviti klor je vrlo učinkovito i ekonomično sredstvo za dezinfekciju, ali moguća prisutnost



Slika 5. Dijagram promjene mutnoće na postrojenju "Karašnica" – rezultati dopunskih mjerenja iz 2019.

organskih tvari u vodi koja se dezinficira smanjuje njegovu pouzdanost i sigurnost primjene s obzirom na stvaranje štetnih kancerogenih spojeva kao što su trihalometani (THM) [4]. Smanjenje rizika nastajanja THM može se postići primjenom novih trendova, odnosno drugih načina dezinfekcije (klorov dioksid, hipoklorit, ozon, UV zračenje). S tim u vezi, preporuka je za ovo postrojenje zamijeniti elementarni klor klorovim dioksidom ili hipokloritom. Primjenom tih kemikalija smanjuje se opasnost stvaranja štetnih primjesa. One ne zahtijevaju skupu opremu te osiguravaju rezidual u distribucijskoj mreži (za razliku od ozona i UV zračenja).

Zamuljene vode s postrojenja

Kada je riječ o tretmanu mulja, odnosno zamuljenih voda s postrojenja, uređaj za tretman zamuljenih voda iz toga postrojenja je planiran, a u skorije vrijeme očekuje se i njegova realizacija. Trenutačno se zamuljene vode usmjeravaju prema gradskom kolektoru otpadnih voda. Sve stroži zahtjevi u pogledu očuvanja životne sredine zahtijevaju strojne postupke obrade nakon kojih se dobivaju filtrati visoke kvalitete koji se vraćaju u proces prerade, a isušeni mulj se odlaže na odlagališta ili koristi kao sirovina u drugim industrijama. Lagune su ekonomičan način za zgušnjavanje, isušivanje i privremeno skladištenje izdvojenog mulja, ali zahtijevaju dovoljno izoliranog prostora i osjetljive su na atmosferilije.

Tehnologija prerade vode

U postrojenju s konvencionalnom tehnologijom, kao što je postrojenje "Karašnica", s tehničkog i ekonomskog stajališta opravdano je korigirati ili mijenjati dotrajale postojeće objekte i opreme, prilagoditi automatizaciju njihovog rada, razmotriti način boljeg upravljanja sustavom i nastojati na redovitijem održavanju, te primjeni drugih kemikalija, a sve kako bi se poboljšao učinak prerade i postigla ekonomičnost sustava. Mnogo je toga već i postignuto na tom postrojenju. Primjerice, koristi se nova učinkovitija kemikalija za koagulaciju i flokulaciju (PAC); uloženi su značajni napor na automatizaciji i kontroli rada postrojenja (korištenje SCADA sustava, implementacija standarda HACCP Codex o dobroj higijenskoj i proizvodnoj praksi); stari i dotrajali filtri zamijenjeni su automatskim samoispirajućim filtri i brzim filtrima pod tlakom; radi se na poboljšanju kontrole i održavanja, a planirana je i gradnja uređaja za tretman zamuljenih voda s postrojenja.

Suvremene tehnologije podrazumijevaju, primjerice, uvođenje membrana za filtriranje, pa čak i za dezinfekciju ili primjenu ozona i UV zračenja. Preduvjet za učinkovitu primjenu membranskih tehnologija i dezinfekcije jest niska razina zamućenosti vode. U slučaju zahvata površinskih bujičnih tokova, ta tehnologija mogla bi se primjenjivati kao dopunska, kojom se učinkovito snižava visoka razina zamućenosti vode. Osim toga, membranske tehnologije su i prilično skupe.

5. Zaključak

Postrojenja za kondicioniranje vode zahtijevaju kontinuiranu modernizaciju i praćenje novih trendova kako bi odgovorila sve strožim standardima i spriječila veća onečišćenja vode, s ciljem da ostanu funkcionalna i održiva [11]. Osvremenjivanje takvih postrojenja i novi trendovi podrazumijevaju uvođenje automatizacije, sveobuhvatniji monitoring, primjenu novih učinkovitih kemikalija, primjenu novih filtarskih ispuna, opreme za miješanje i doziranje kemikalija, pouzdanije načine dezinfekcije radi sprječavanja nastajanja štetnih nusproizvoda itd. Učinkovitost postrojenja za kondicioniranje "Karašnica" ključni je faktor kontinuirane i zdravstveno sigurne vodoopskrbe općine Ilijaš, pa je u ovom radu, osim objašnjenja načina rada postrojenja, poseban naglasak stavljen na dvije uspostavljene linije prerade vode.

Rezultati istraživanja nedvosmisleno pokazuju da kvaliteta vode za piće s jedne strane ovisi o kvaliteti sirove vode koja se zahvaća i doprema na postrojenje nakon predtretmana, a s druge strane o učinkovitosti pojedinih postupaka u postrojenju. Na stupanj učinkovitosti utječe i odabrana tehnologija i oprema, vrsta i količina kemikalija koje se primjenjuju u procesu prerade vode, kao i ljudski faktor, odnosno odgovarajuća kontrola i upravljanje radom postrojenja.

Analizom učinkovitosti pojedinačnih postupaka prerade vode za piće i razmatranjem cjelokupnog rada postrojenja "Karašnica" može se zaključiti kako je potrebno povećati sadašnju učinkovitost rada postrojenja. Da bi se poboljšao rad postrojenja i pojedinih postupaka prerade vode, preporučuju se sljedeće mjere:

- u slivu rijeke Misoče identificirati uzroke koji izazivaju pojavu mutnoće, te definirati kratkoročne i dugoročne mjere smanjenja mutnoće na vodozahvatu;
- provesti detaljnu analizu funkcioniranja i održavanja tirolskog vodozahvata, pjeskolova i stupnja kolmacije drenažnog sustava koji dovodi vodu do pjeskolova kako bi se smanjila mutnoća na samom vodozahvatu i na postrojenje dolazila voda manje mutnoće;
- razmotriti karakteristike ispune (debljinu slojeva, promjer zrna, koeficijent uniformnosti) i način reguliranja režima rada filtera pod tlakom;
- automatizirati isključenje postrojenja iz rada u vrijeme kada se pojavi kritična mutnoća na ulazu u postrojenje;
- uskladiti kapacitet taložnika, filtera i količine sirove vode koja se doprema iz crpne stanice, što zasad izostaje jer se zasad višak vode preko prelivnih kanala taložnika odvodi onda kad filtri tu vodu ne mogu primiti i tako se stvaraju gubitci vode;
- smanjiti potrošnju vode koja služi za odražavanje postrojenja "Karašnica";
- izgraditi vodospremu za čistu vodu odgovarajućeg kapaciteta koji će osigurati korisnicima dovoljnu količinu vode za vrijeme stavljanja postrojenja izvan funkcije;
- nastaviti sa češćom laboratorijskom analizom uzoraka u postrojenju s ciljem dobivanja većeg broja podataka

- za donošenje boljih i pouzdanijih zaključaka i mjera za unaprjeđenje rada postrojenja "Karašnica";
- razmotriti postupak dezinfekcije vode natrijevim hipokloritom ili klorovim dioksidom umjesto plinovitog klora, kako bi se smanjila mogućnost nastajanja štetnih nusproizvoda dezinfekcije;
 - na odgovarajući način provoditi tretman zamuljenih voda sa postrojenja.

LITERATURA

- [1] Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće, "Službeni glasnik BiH", broj: 40/10, 43/10, 30/12
- [2] Gulić, I.: Kondicioniranje vode, Hrvatski savez građevinskih inženjera (HSGI), Zagreb, 264.
- [3] Jahić, M.: Uređivanje bujica, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo, 2005.
- [4] Margeta, J.: Vodoopskrba naselja: planiranje, projektiranje, upravljanje, obrada vode, prvo izdanje, Sveučilište u Splitu-Građevinsko-arhitektonski fakultet, 2010.
- [5] Idejni projekat-tehnološki dio-rekonstrukcija filtarskog postrojenja Karašnica, IBIS d.o.o. Zavidovići, 2016.
- [6] Priručnik tehnološki proces prečišćavanja vode rijeke Misoče – filtarsko postrojenje Karašnica, JKP Vodostan doo Ilijaš, decembar 2011.
- [7] Bekić, D., Halkijević, I., Gilja, G., Lončar, G., Potočki, K., Carević, D.: Primjeri trendova u sustavima gospodarenja vodama pod utjecajem naprednih tehnologija, GRAĐEVINAR, 71 (2019) 10, pp. 833-842, <https://doi.org/10.14256/JCE.2728.2019>
- [8] Skejović, S.: Klor dioksid kao sredstvo za dezinfekciju na postrojenju za prečišćavanje pitke vode za potrebe Goražda i Vitkovića. Časopis JP za Vodno područje slivova rijeke Save Sarajevo, 35 (2003), pp. 15-23.
- [9] Avdić, N.: Tretman mulja iz procesa proizvodnje pitke vode, 7. Naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem - KVALITET 2011, Neum, BiH, 1.-4. June 2011.
- [10] Izvještaj o radu filter postrojenja i laboratorije za 2017. godinu, JKP Vodostan d.o.o Ilijaš,
- [11] Halkijević, I., Vuković, Ž.: Usmjerenost prema održivoj vodoopskrbi, GRAĐEVINAR, 64 (2012) 5, <https://doi.org/10.14256/JCE.655.2011>
- [12] Stanojević, M.: Tretman pijaće vode, Građevinska knjiga d.o.o. Beograd, 492, 2009.
- [13] Jusić, S., Ademović, M.: Coagulation and Flocculation in Technology of Potable Water Treatment, Časopis za hemiju i tehnologiju Tehnološkog fakulteta u Tuzli, TECHNOLOGICA ACTA, Tuzla, 5 (2012) 1, pp. 45-5
- [14] Izvještaj kontrole kvaliteta vode za grad Ilijaš broj: 2316/18 od 05.11.2018. godine, Laboratorija JKP Vodostan d.o.o Ilijaš,
- [15] Izvještaji o fizikalno-hemijskoj analizi vode koje je izvršila JU Instituta za zdravlje i sigurnost hrane Zenica, Izvještaji broj: 16.01.08: -15116/19, HM-147/19, 15075/19, HM-115/19, -15072/19, HM-112/19, -15022/19, HM-116/19, -15073/19, HM-113/19, -15078/19, HM-117/19, -15074/19, HM-114/19, za uzorke uzete 05.02.2019.
- [16] Izvještaji o fizikalno-hemijskoj analizi vode koje je izvršila JU Instituta za zdravlje i sigurnost hrane Zenica, Izvještaji broj: 16.01.08: -15799/19, HM-809/19, -15800/19, HM-10/19, -15801/19, HM-811/19, -15802/19, HM-812/19, -15803/19, HM-813/19, -15804/19, HM-814/19 za uzorke uzete 21.05.2019.
- [17] Izvještaj o mikrobiološkoj analizi vode, koju je izvršila JU Instituta za zdravlje i sigurnost hrane Zenica, broj: 14.01.05.-32689/19, MV-1052/19 za uzorke uzete 21.05.2019.