

UTICAJ POVEĆANE MUTNOĆE VODE NA RAD FILTERSKOG POSTROJENJA SOKOLINA U ILIJAŠU / IMPACT OF INCREASED WATER TURBIDITY ON THE OPERATION OF THE SOKOLINA FILTER PLANT IN ILIJAŠ

Dr. sci. Nedžad Mekić¹ dipl.ing.građ.

¹Ministarstvo privrede Kantona Sarajevo, Reisa Džemaludina Čauševića 1, 71000 Sarajevo,
BiH

e-mail: nedzadmekic@gmail.com

Pregledni članak

<https://www.doi.org/10.58952/zr20251402050>

UDK / UDC 628.16:628.1(497.6)

Sažetak

Pojava mutnoće na izvorštima vode za piće je posljedica intenzivnih erozionih procesa koji se javljaju u slivnom području izvorišta. Erozione procese izazivaju jake kiše koje se sve češće javljaju kao posljedica prisutnih klimatskih promjena. Ovim radom, a na osnovu provedenih mjerenja analiziran je uticaj mutnoće sirove vode na rad filterske stanice Sokolina u Ilijašu, te učinkovitost uklanjanja mutnoće procesom koagulacije i filtracije u brzim filterima pod pritiskom. U radu je opisan proces pripreme vode za piće, te dati rezultati provedenih mjerenja efikasnosti procesa koagulacije i filtracije, a zatim je izvršena analiza dobijenih rezultata te doneseni odgovarajući zaključci i preporuke.

Ključne riječi: erozija, mutnoća, koagulacija, filtracija, rezidualni hlor

JEL klasifikacija: Q25, Q53, Q54

Abstract

The occurrence of turbidity in drinking water sources is a consequence of intensive erosion processes that occur in the watershed area of the source. Erosion processes are caused by heavy rains that occur more frequently as a result of the current climate changes. This paper, based on the measurements conducted, analyzes the impact of raw water turbidity on the operation of the Sokolina filter station in Ilijaš, as well as the efficiency of turbidity removal by the coagulation and filtration process in rapid pressure filters. The paper describes the process of preparing drinking water, and provides the results of the measurements conducted to determine the efficiency of the coagulation and filtration processes, and then analyzes the results obtained and makes appropriate conclusions and recommendations.

Keywords: erosion, turbidity, coagulation, filtration, residual chlorine

JEL classification: Q25, Q53, Q54

UVOD

Voda koju iz prirode koristimo za vodosnabdijevanje, a posebno vode iz kraških vrela su sklone замуćenju koje nastaje tokom padavina i topljenja snijega. Mutnoća u sirovoj vodi uglavnom sadrži u sebi pojedine fizičko-hemijske i mikro-biološke parametre u većim koncentracijama od dozvoljenih. Shodno tome, potrebno je definisati procese za pripremu vode kako bi se ona mogla koristiti za piće i svojim kvalitetom bila u skladu s parametrima definiranih Pravilnikom [1]. U ovom radu biće prikazani rezultati provedenih mjerenja mutnoće sirove vode i učinkovitost tehnološkog procesa pripreme vode na filterskoj stanici "Sokolina" u Ilijašu.

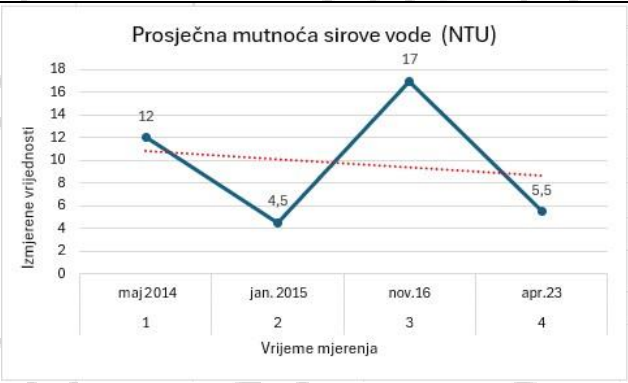
1. TEHNOLOŠKA ŠEMA PRIPREME VODE ZA PIĆE

1.1. KARKTERISTIKE VODE VRELA SOKOLINA

Vrelo Sokolina nalazi se na nadmorskoj visini od 860 m.n.m na obroncima planine Ozren i čine ga tri rasuta kraška vrela Sokolina I, II i III promjenljivog kapaciteta od 15-20 lit/sec. Ovo kraško vrelo karakteriše pojava povećane mutnoće u periodu intezivnih padavina, koja se mijenja u zavisnosti od godišnjeg doba, intenziteta padavina, prisutnosti erozionih procesa u slivu i koeficijenta pošumljenosti sliva.

Upravitelj filterske stanice Sokolna je JKP "Vodostan" d.o.o. Ilijaš, koje vrši kontinuirano mjerenje mutnoće na ulazu i izlazu iz filterskog postrojenja putem ugrađenog turbidimetra, kojim određuje koncentraciju tvari i sitnih čestica u vodi. Mjerenja su pokazala da je vrijednost mutnoće sirove vode u periodima padavina i topljenja snijega skoro uvijek izvan dozvoljenih graničnih vrijednosti definiranih Pravilnikom [1], a rezultati mjerenja mutnoće sirove vode na vrelu Sokolina prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1: Periodi i vrijednosti prosječne mutnoće na vrelu Sokolina [3]

R. br.	Period uzimanja uzorka	Izmjerena mutnoća (°NTU)	Prosječna mutnoća (°NTU)	
1.	2014-maj	od 9 do 15	12	 Prosječna mutnoća sirove vode (NTU) Izmjerene vrijednosti Vrijeme mjerenja
2.	2015januar	od 2 do 7	4,5	
3.	2016-novembar	od 14 do 20	17	
4.	2023-april	5,5	5,5	

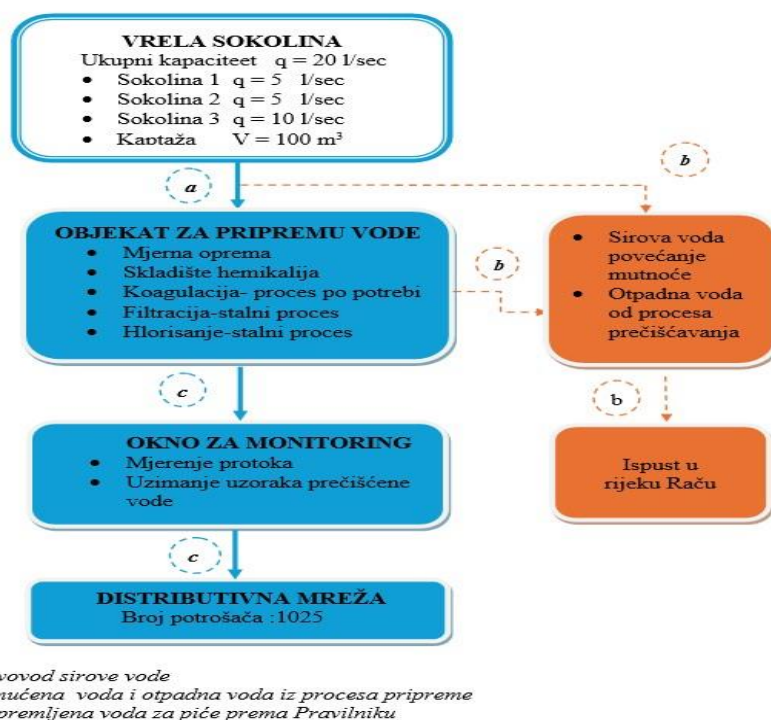
Slika 1. Dijagram promjene mutnoće sirove vode

Paralelno sa mjerenjem mutnoće vršene su i fizičko-hemijske analize sirove vode, koje su pokazale da se boja mijenja shodno intezitetu padavina, da se pH vrijednost kreće od 7,4 do 7,9, električna provodljivost od 300-440 μ S/cm, nitriti su veoma mali i kreću se od 0,006 do 0,08 mg/lit, a nitrati se kreću od 1,86 do 11,52 mg/lit. Također amonijak je u malim koncentracijama od 0 do 0,097 mg/lit, a utrošak KMnO_4 se kreće od 0,4-1,34. Analize su pokazale da se fizičko-hemijski parametri ne mijenjaju u velikoj mjeri u toku padavina dok je mutnoća izrazito promjenljiva.

1.2. TEHNOLOŠKA ŠEMA PRIPREME VODE ZA PIĆE NA STANICI SOKOLINA

Sirova voda se dovodi sa tri kraška vrela u sabirni rezervoar, a zatim cjevovodom DN 100 mm u filtersku stanicu u kojoj je ugrađena automatska oprema za mjerenje vrijednosti pH, redoks potencijal, elektroprovodljivost i mutnoća i pritisak, a dobijeni podaci prenose se do centra za kontrolu (SCADA sistem). Filterska stanica, ima kapacitet da prečisti 54 m³/h sirove vode, a tehnološka šema pripreme vode za piće na filterskoj stanici Sokolina prikazana je na slici 2.

TEHNOLOŠKA ŠEMA PRIPREME VODE SA IZVORIŠTA SOKOLINA



Slika 2. Tehnološka shema pripreme vode za piće na filterskoj stanici "Sokolina"

1.3. OPIS OBJEKATA I TEHNOLOŠKIH PROCESA U PRIPREMI VODE NA STANICI SOKOLINA 2.3.1. VADNA INFRASTRUKTURA

Vodozahvatni objekat-kaptaža na vrelu Sokolina je zapremine $V=100 \text{ m}^3$ sa izrađenim prelivom i zatvaračnicom, a zadatak joj je da akumulira definisanu količinu vode na izvorištu, koja je usaglašena sa vremenom filtracije i kapacitetom filterske stanice;

Transportni gravitacioni cjevovod je profila DN 140 mm i ima zadatak da dopremi akumuliranu vodu iz kaptaze do stanice za pripremu vode za piće;

Objekat za pripremu vode za piće u kojem je smještena oprema i u kojem se odvijaju procesi pripreme vode prikazan je na (slici 3) i ima sljedeće sadržaje:

Prostor za filterske jedinice-vertikalni cilindrični filteri (slika 4) i ostalu opremu, a površine je $A=42 \text{ m}^2$ i svijetle visine $H = 4,0 \text{ m}$;

Komandnu sobu površine $A = 7,0 \text{ m}^2$, svijetle visine $H = 3,05 \text{ m}$

Prostor za smještaj hemikalija površine $A=6,50 \text{ m}^2$, svijetle visine $H = 3,05 \text{ m}$ - Taložnik otpadnih voda od pranja filtera površine $A=11 \text{ m}^2$, svijetle visine $H=2,5 \text{ m}$.



Slika 3:Objekat filterske stanice "Sokolina"



Slika 4:Vertikalni brzi cilindrični filteri

Na liniji sirove vode mjere se protok, pH vrijednost, redoks potencijal, elektroprovodljivost i mutnoća, dok se na liniji filtrirane vode mjere pH vrijednost, mutnoća i rezidualni hlor. Uzorak vode za mjerenje koncentracije rezidualnog hlora uzima se na najudaljenijem mjestu u stanici u odnosu na mjesto injektiranja hlora u cjevovod, kako bi se dobilo što veće retenciono vrijeme uzorka. U stanici Sokolina definisana su tri procesa pripreme vode i to: koagulacija, filtracija i dezinfekcija hlorisanjem.

1.3.2. Procesi kogulacije, filtracije sa dimenzionisanjem brzih filtera

Koagulacija je operacija koja se na ovoj stanici provodi u cilju povećanja efikasnosti operacije brze filtracije. Na dovodnom cjevovodu instalirani su mjerač protoka i mjerač mutnoće, te se na osnovu vrijednosti ovih parametara putem dozirnih pumpi dozira koagulant i dezinfekciono sredstvo u sirovu vodu. Kao koagulant koristi se rastvor poli aluminijum hlorida $Al_nCl_{(3n-m)}(OH)_m$, koji je po svom hemijskom sastavu neorganski polimer, čiji je monomer binuklearni kompleks aluminijuma. Ovaj koagulant se u praksi pokazao kao efikasan i operater vodovodnog sistema ga koristi i na drugim stanicama za pripremu vode za piće u Ilijašu.

Filtracija je operacija koja počinje na ulazu sirove vode u filtersko postrojenje, gdje je instaliran mikro filter, čiji je zadatak da ukloni dio suspendovanih čestica određene veličine, te da na taj način umanju mutnoću koja će doći na linije za brzu filtraciju. Tok sirove vode nakon mikro filtera, vodi se na dvije linije dvostepene filtracije, svaka kapaciteta 7,5 l/s, ukupnog kapaciteta 15 l/s, koje su u fazi filtracije u paralelnom radu (*slika 4*).

Prilikom pranja filterskih posuda, ventil se sam zatvara kako ne bi došlo do kontaminacije vode u rezervoaru. Filteri su izrađeni od čelika namijenjenog za posude pod pritiskom, sa odgovarajućom obostranom antikorozijskom zaštitom. Efikasnost i brzina filtracije zavisi direktno od sastava i debljine filterske ispune. Filtersku ispunu u vertikalnim filterskim posudama čine zeolit i kvarcni pijesak ukupne debljine 135 cm s granulacijom od 0,5 do 2,5 mm (*tabela 2*).

Zeolit ima osobinu da zbog velike specifične površine zrna ima mogućnost da vrši selektivnu apsorpciju spojeva amonijaka, otopljenih organskih čestica, što povećava kvalitet prečišćene vode, što je kod brze filtracije veoma značajno. Zeolit osiromašuje hloridni jon, koji je negativno naelektrisan jon (anion) koji nastaje kada atom hlora (Cl) primi jedan elektron ($Cl + e^- \rightarrow Cl^-$), te uklanja tvrde soli iz vode, pa time povećava pH vrijednost. Zbog toga je veoma bitno obratiti pažnju na debljinu filterskog sloja zeolita kod sirovih voda koje imaju povećanu pH vrijednost.

Tabela 2. Slojevi filterske ispune u filterskim posudama

Karakteristike filtera	Jedinica mjere	Vrijednost
Kapacitet	l/sec	2 x 7,5 l/s
Brzina filtracije	m/h	12,22
Utrošak vode za pranje filtera po jednom pranju	m ³	11
Broj pranja filtera	mjesečno	5
Debljina filterske ispune (kvarcni pijesak +Zeosorb) prvi nosivi sloj: kvarcni pijesak krupnoće 2÷3,15 mm, debljine d₁=10 cm • drugi nosivi sloj: kvarcni pijesak krupnoće 1 ÷ 2,0 mm, debljine d₂=10 cm filtracioni sloj: kvarcni pijesak, krupnoće 0,5 ÷ 1,5 mm debljine d₃=15 cm filtracioni sloj: ZeoAqua krupnoće 0,5 ÷ 1,0 mm, debljine d₄=40 cm filtracioni sloj: ZeoSorb krupnoće 1,5 ÷ 2,5 mm, debljine d₅=60 cm	cm	$d = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5$ $= 10 + 10 + 15 + 40 + 60$ d = 135 cm
Površina filtera	m ²	4,91

Dimenzionisanje filtera pod pritiskom izvršeno je za odabrani tehnološki režim rada filtera, odabranu ispunu i obavezu da se obezbijedi kvalitet izbistrene sirove vode na izlazu iz stanice koja je prema Pravilnikom [1], max. 1 °NTU. U dovodni cjevovod instalirani su mjerač protoka i mjerač mutnoće, te se na osnovu vrijednosti ovih parametara vrši regulacija preko instaliranih dozirnih pumpi kojima se dozira koagulant i dezinfekciono sredstvo u sirovu vodu. Na osnovu trenutnih vrijednosti mutnoće sirove vode, dodaje se potrebna količina koagulanta, pa se na ovaj način dozirana količina održava u optimalnim vrijednostima prethodno utvrđenim *Jaar testovima* i testovima u eksploatacionim uslovima u fazi rada. Kada diferencijalni pritisak filtera dostigne zadatu vrijednost (zapunjenost filtera), procesor aktivira operaciju pranja filtera, koja se vrši u više faza i podrazumijeva rastresanje filterske ispune zrakom, ispiranje vodom u suprotnom smjeru u odnosu na smjer filtracije i stabilizaciju filtera nakon ispiranja. Proces ispiranja filtera vrši se sirovom vodom, što predstavlja nedostak u procesu prireme vode za piće na stanici Solokina, jer je ispiranje filtera učinkovitije vršiti vodom koja je pripremljena za piće i koja je prošla proces filtracije i hlorisanja. Razlog zbog kojeg se vrši pranje filtera sirovom vodom je nepostojanje rezervoara u sklopu stanice. Analiza rada je pokazala da mala površina filtera iziskuje češće pranje filtera, a za prosječne mutnoće koje se javljaju na ovom izvoru vrši se minimalno 5 puta mjesečno. Kvalitet sirove vode i koncentracija mutnoće tokom vremena je promjeljiva, tako da postoji mogućnost da se više od 5 puta mora vršiti pranje filterske ispune, što je neekonomično.

Dezinfekcija vode vrši se tečnim hlorom natrijum-hipohlorit (NaOCl), a najčešće se koristi u koncentraciji 10–15%. Proces doziranja hlora je automatiziran, tako da se vrši predhlorisanje prije procesa i nakon procesa filtracije. Koncentracija rezidualnog hlora u pripremljenoj vodi za piće se kontroliše automatskim mjeračima i treba zadovoljiti propisane vrijednosti na najudaljenijem mjestu vodovodne mreže. Za učinkovitost tečnog hlora bitna je pH vrijednost, jer ukoliko je ona veća od pH 8 tada se smanjuje efekat djelovanja hlora. Uzorak vode za mjerenje koncentracije rezidualnog hlora uzima se na najudaljenijem mjestu u stanici u odnosu na mjesto injektiranja hlora u cjevovod kako bi se dobilo što veće retenziono vrijeme.

2. ANALIZE MJERENJA I EFIKASNOST RADA STANICE „SOKOLINA“

2.1. ANALIZA LABORATORIJSKIH REZULTATA

Imajući i vidu da je voda s izvorišta Sokolina kraškog tipa i da postoji mogućnost prisustva u njoj fito i zoo planktona, kao i drugih organskih materija, vrši se doziranje oksidacionog sredstva natrijum hipohlorita (NaOCl), sa ciljem dekontaminacije kako filterske ispune tako i sistema cjevovoda u stanici kroz koje prolazi filtrirana voda. Natrijum hipohlorit se dozirnima pumpama dozira u cjevovod sirove vode (predhlorinacija) i cjevovod filtrirane vode (završna hlorinacija) kako bi se postigla veća efikasnost procesa hlorinacije.

2.1.1. Rezultati laboratorijskih analiza mutnoće u sirovoj vodi

Mjerenje mutnoće vode vršeno je turbidimetrom i izražava se u stepenima $^{\circ}\text{NTU}$ (*Nephelometric Turbidity Unit*) i kontrolisano je u SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) sistemu. Vrijednosti mutnoće vode u periodu od 1.1.2023. do 15.08.2023. godine date su u tabeli 2.

Tabela 2. Vrijednosti mutnoće sirove vode na izvorištu Sokolina izmjerene u periodu od 1.1.2023. do 15.08.2023. godine [4]

Godina 2023.	Maksimalna mutnoća sirove vode [NTU°]	
Januar	224,87	
Februar	5,44	
Mart	29,71	
April	9,02	
Maj	2,96	
Juni	4,57	
Juli	0,68	
Avgust	1,49	

Slika 4: Dijagram maksimalnih mutnoća januar-avgust

2.1.2. Rezultati laboratorijskih analiza koncentracije rezidualnog hlora

Nakon procesa dezinfekcije tečnim hlorom uzeti su uzorci vode, sa mjesta prije ulaska u distributivni sistem naselja Srednje i prikazani su u tabeli 3.

Tabela 3. Rezultati mjerenja koncentracije rezidualnog hlora u stanici Sokolina [4]

R.br.	Datum uzimanja uzorka	Vrije me	Izmjereni rezidualni hlor (mg/l) MDK (0,5 mg/l)		R. br.	Datum uzimanja uzorka	Vrijeme	Izmjereni rezidualni hlor (mg/l) MDK (0,5	
			po Pravilniku [1].					mg/l) po Pravilniku [1].	
	Juni 2023. godine				Juli 2023. godine				
1.	13.6.2023	12 ⁰⁰	0,35	0,5 mg/l	5.	4.7.2023	7 ³⁰ 16 ⁰⁰	0,3 0,3	0,5 mg/l
2.	14.6.2023	12 ⁰⁰	0,35	0,5 mg/l	7.	5.7.2023	7 ³⁰ 16 ³⁰	0,32 0,3	0,5 mg/l
3.	15.6.2023	12 ⁰⁰	0,30	0,5 mg/l	9.	6.7.2023	7 ³⁰ 16 ³⁰	0,32 0,33	0,5 mg/l
4.	16.6.2023	12 ⁰⁰	0,30	0,5 mg/l	11.	7.7.2023	7 ³⁰ 16 ³⁰	0,3 0,3	0,5 mg/l
5.	17.6.2023	12 ⁰⁰	0,25	0,5 mg/l	13.	8.7.2023	8 ⁰⁰	0,3	0,5 mg/l
5.	18.6.2023	12 ⁰⁰	0,24	0,5 mg/l	14.	9.7.2023	8 ¹⁵	0,32	0,5 mg/l
6.	19.6.2023	12 ⁰⁰	0,21	0,5 mg/l	15.	10.7.2023	7 ³⁰ 16 ⁰⁰	0,3 0,33	0,5 mg/l
7.	20.6.2023	12 ⁰⁰	0,30	0,5 mg/l	5.	4.7.2023	7 ³⁰ 16 ⁰⁰	0,3 0,3	0,5 mg/l
8.	21.6.2023	12 ⁰⁰	0,35	0,5 mg/l	7.	5.7.2023	7 ³⁰ 16 ³⁰	0,32 0,3	0,5 mg/l
9.	22.6.2023	12 ⁰⁰	0,35	0,5 mg/l	9.	6.7.2023	7 ³⁰ 16 ³⁰	0,32 0,33	0,5 mg/l
10.	23.6.2023	12 ⁰⁰	0,35	0,5 mg/l	11.	7.7.2023	7 ³⁰ 16 ³⁰	0,3 0,3	0,5 mg/l
11.	24.6.2023	12 ⁰⁰	0,35	0,5 mg/l	13.	8.7.2023	8 ⁰⁰	0,3	0,5 mg/l
12.	25.6.2023	12 ⁰⁰	0,35	0,5 mg/l	14.	9.7.2023	8 ¹⁵	0,32	0,5 mg/l
13.	26.6.2023	12 ⁰⁰	0,30	0,5 mg/l	15.	10.7.2023	7 ³⁰ 16 ⁰⁰	0,3 0,33	0,5 mg/l
14.	27.6.2023	12 ⁰⁰	0,30	0,5 mg/l	17.	11.7.2023	7 ³⁰ 16 ⁰⁰	0,31 0,3	0,5 mg/l
15.	28.6.2023	12 ⁰⁰	0,35	0,5 mg/l	19.	12.7.2023	7 ³⁰ 16 ¹⁵	0,34 0,33	0,5 mg/l
16.	29.6.2023	12 ⁰⁰	0,30	0,5 mg/l	21.	13.7.2023	7 ³⁰ 18 ¹⁰	0,35 0,34	0,5 mg/l
17.	30.6.2023	12 ⁰⁰	0,30	0,5 mg/l	23.	14.7.2023	7 ³⁰ 16 ¹⁰	0,3 0,3	0,5 mg/l
	Juli 2023. godine				25.	15.7.2023	7 ³⁰	0,24	0,5 mg/l
1.	1.7.2023	12 ⁰⁰	0,3	0,5 mg/l	26.	16.7.2023	7 ³⁰	0,32	0,5 mg/l
2.	2.7.2023	12 ⁰⁰	0,3	0,5 mg/l	27.	17.7.2023	7 ¹⁵	0,30	0,5 mg/l
3.	3.7.2023	7 ³⁰	0,3	0,5	28.	18.7.2023	7 ¹⁵	0,35	0,5 mg/l
4.		16 ⁰⁰	0,3	mg/l	29.		16 ³⁰	0,35	
					30.	19.7.2023	7 ¹⁵	0,30	0,5 mg/l

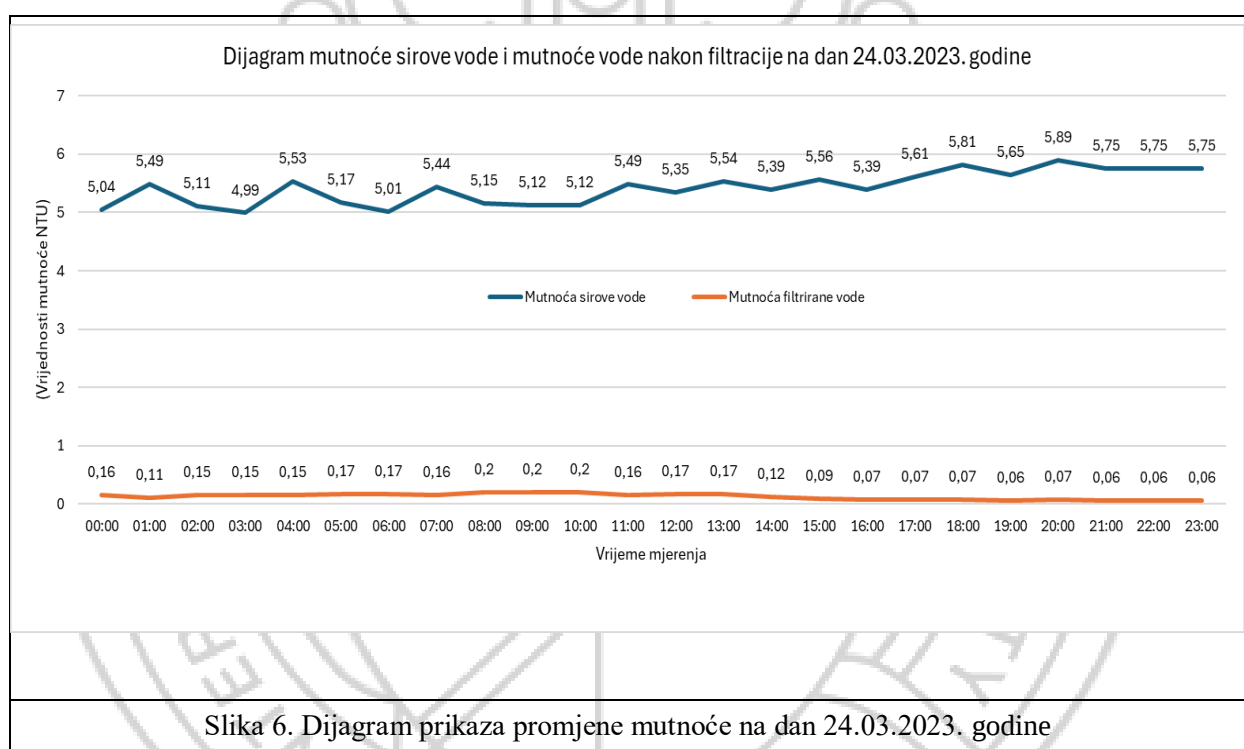


U tabeli 4. prikazane su vrijednosti mutnoće prije i poslije procesa filtracije u toku 24 sata na dan 24.03.2023. godine, a mjerenje je vršeno u razmaku od 1 sat.

Tabela 4: Rezultati mjerenja mutnoće na dan 24.03.2023. godine [4]

R.br.	Datum mjerenja	Vrijeme mjerenja	Mutnoća sirove vode (NTU ⁰)	Mutnoća filtrirane vode (NTU ⁰)
1	24.03.2023	00:00	5,04	0,16
2	24.03.2023	01:00	5,49	0,11
3	24.03.2023	02:00	5,11	0,15
4	24.03.2023	03:00	4,99	0,15
5	24.03.2023	04:00	5,53	0,15
6	24.03.2023	05:00	5,17	0,17
7	24.03.2023	06:00	5,01	0,17
8	24.03.2023	07:00	5,44	0,16
9	24.03.2023	08:00	5,15	0,20
10	24.03.2023	09:00	5,12	0,20
11	24.03.2023	10:00	5,12	0,20
12	24.03.2023	11:00	5,49	0,16
13	24.03.2023	12:00	5,35	0,17
14	24.03.2023	13:00	5,54	0,17
15	24.03.2023	14:00	5,39	0,12

16	24.03.2023	15:00	5,56	0,09
17	24.03.2023	16:00	5,39	0,07
18	24.03.2023	17:00	5,61	0,07
19	24.03.2023	18:00	5,81	0,07
20	24.03.2023	19:00	5,65	0,06
21	24.03.2023	20:00	5,89	0,07
22	24.03.2023	21:00	5,75	0,06
23	24.03.2023	22:00	5,75	0,06
24	24.03.2023	23:00	5,75	0,06



Slika 6. Dijagram prikaza promjene mutnoće na dan 24.03.2023. godine

Mutnoća sirove vode se mijenja u zavisnosti od perioda godine i intenziteta kiša koje se javljaju u slivu izvorišta. Na osnovu provedenih istraživanja i izvršenih mjerenja pokazalo se da mutnoća u periodima padavima ima veoma velike vrijednosti pa je čak imjerena i vrijednost mutnoće od 224,87⁰NTU, dok Pravilnik [1], propisuje maksimalnu mutnoću od 1⁰NTU. Može se zaključiti da je mutnoća ovog izvorišta u periodu padavina veoma velika i da ugrožava javno vodosnabdijevanje. Ovu mutnoću ne može da ukloni postojeće filtersko postrojenje pa se ovo izvorište mora isključiti iz sistema vodosnabdijevanja. Rezultati mjerenja mutnoće prikazani su u tabeli 5.

Tabela 5: Rezultati mjerenja mutnoće na dan 24.03.2023. godine [4]

R.br.	Datum i vrijeme mjerenja	Mutnoća (NTU ⁰)	sirove vode	Datum i vrijeme mjerenja	Mutnoća sirove vode (NTU ⁰)
1	16.01.2023			18.01.2023	
2	19:00	0,62		01:00	26,05
3	20:00	2,63		02:00	26,05
4	21:00	4,66		03:00	26,05
5	22:00	5,44		04:00	26,05
6	23:00	4,54		05:00	26,05
7	24:00	6,73		06:00	26,05
	17.01.2023			07:00	112,00
8	01:00	10,96		08:00	224,87
9	02:00	8,90		09:00	173,27
10	03:00	7,64		10:00	159,75
11	04:00	7,64		11:00	77,66
12	05:00	7,64		12:00	54,49
13	06:00	7,64		13:00	73,25
14	07:00	7,64		14:00	43,55
15	08:00	18,61		15:00	33,24
16	09:00	20,94		16:00	44,49
17	10:00	15,16		17:00	33,50
18	11:00	33,12		18:00	31,23
19	12:00	33,12		19:00	32,04
20	13:00	33,12		20:00	25,36
21	14:00	33,12		21:00	32,94
22	15:00	33,12		22:00	29,31
23	16:00	33,12		23:00	24,33
24	17:00	26,47		24:00	32,51
25	18:00	22,94			
26	19:00	32,13		10:00	30,63
27	20:00	26,90		11:00	36,57
28	21:00	26,05		12:00	34,32
29	22:00	26,05		13:00	40,90
30	23:00	26,05		14:00	40,13
31	24:00	26,05		15:00	45,80
19.01.2023				16:00	46,01

1.	01:00	27,29	17:00	52,35
2.	02:00	24,59	18:00	51,56
3.	03:00	23,23	19:00	57,06
4.	04:00	31,20	20:00	55,73
5.	05:00	30,02	21:00	55,73
6.	06:00	27,38	22:00	60,90
7.	07:00	26,47	23:00	60,90
8.	08:00	33,92	24:00	60,90
9.	09:00	33,90		
20.01.2023				
1.	01:00	60,90	13:00	102,48
2.	02:00	75,49	14:00	104,91
3.	03:00	76,30	15:00	105,58
4.	04:00	80,72	16:00	108,57
5.	05:00	80,72	17:00	108,78
6.	06:00	80,72	18:00	108,78
7.	07:00	89,00	19:00	108,78
8.	08:00	92,40	20:00	114,39
9.	09:00	95,72	21:00	114,14
10.	10:00	96,82	22:00	117,91
11.	11:00	99,79	23:00	117,15
12.	12:00		24:00	117,24
		101,34		
21.01.2023				
1.	01:00	117,24	13:00	87,05
2.	02:00	117,24	14:00	86,01
3.	03:00	117,24	15:00	86,01
4.	04:00	117,24	16:00	4,53
5.	05:00	117,24	17:00	4,53
6.	06:00	117,24	18:00	4,53
7.	07:00	117,24	19:00	4,53
8.	08:00		20:00	4,53
9.	09:00	128,97 85,37	21:00	4,53
10.	10:00	83,99	22:00	4,53
11.	11:00	85,27	23:00	4,53
12.	12:00	83,66	24:00	4,53

2.1.3. Utjecaj mutnoće sirove vode na promjenu pritiska u filterskoj ispuni

Mjerenja mutnoće sirove vode i pritiska u filterskoj ispuni su pokazala da povećane vrijednosti mutnoće utiču na promjenu pritiska u filterskoj ispini, koji se manifestuje na početku i na kraju filterske ispune. Rezultati mjerenja pritiska pokazuju da se pojavom povećane mutnoće u sirovoj vodi povećava otpor procesu filtracije i smanjuje brzina filtracije, a samim time i efikasnost rada filtera. Kada dođe do zapunjenja filterske ispune suspendiranim česticama, povećava se otpor filtraciji s direktnim uticajem na efikasnost filtracije i kvalitet filtrata. U tabeli 6 prikazani su rezultati mjerenja mutnoće, pornog i difuznog pritiska u filterskoj ispuni.

Tabela 6: Mjerenje mutnoće i pritiska u filtereškoj ispuni na dan 20.01.2023. godine [4]

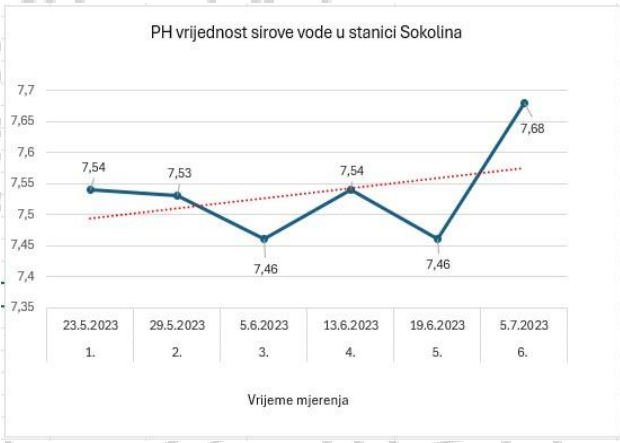
Datum mjerenja 20.01.2023. godine						
R.br	Vrijeme mjerenja	Mutnoća	Pritisak na ulazu u filter p (bar)	Pritisak na izlazu iz filtera p (bar)	Difuzni pritisak p (bar)	Pritisak u filt. ispuni p (bar)
1	01:00	60,90	2,02	1,81	0,01	0,0
2	02:00	75,49	2,02	1,81	0,03	0,0
3	03:00	76,30	2,02	1,83	0,01	0,0
4	04:00	80,72	1,95	1,61	0,14	0,1
5	05:00	80,72	1,95	1,61	0,14	0,1
6	06:00	80,72	1,95	1,61	0,14	0,1
7	07:00	89,00	2,02	1,82	0,01	0,0
8	08:00	92,40	1,97	1,63	0,13	0,01
9	09:00	95,72	2,02	1,75	0,08	0,0
10	10:00	96,82	1,95	1,58	0,16	0,01
11	11:00	99,79	2,0	1,68	0,12	0,0
12	12:00	101,34	1,96	1,56	0,19	0,01
13	13:00	102,48	2,03	1,81	0,02	0,0
14	14:00	104,91	1,96	1,56	0,20	0,01
15	15:00	105,58	2,02	1,83	0,01	0,0
16	16:00	108,57	1,96	1,54	0,21	0,01
17	17:00	108,78	1,96	1,53	0,22	0,01
18	18:00	108,78	1,96	1,53	0,22	0,01
19	19:00	108,78	1,96	1,53	0,22	0,01
20	20:00	114,39	1,96	1,51	0,24	0,0
21	21:00	114,14	2,03	1,82	0,02	0,0
22	22:00	117,91	1,96	1,50	0,25	0,0
23	23:00	117,15	2,02	1,81	0,02	0,0

24	24:00	117.24	2,02	1,82	0,01	0,0
----	-------	--------	------	------	------	-----

2.1.4. Rezultati laboratorijskih analiza PH vrijednosti

Nakon procesa pripreme vode u stanici Sokolina, korištenjem instrumenta PH-100A, izmjerene su pH vrijednosti na šest uzoraka u mjesecu maju, junu i julu, a prije njenog puštanja u distributivnu vodovodnu mrežu. Rezultati su prikazani su u *tabeli 7*, a trend linija pokazuje da se pH vrijednost povećava u ljetnim mjesecima.

Tabela 7. Rezultati mjerenja PH vrijednosti [4]

R. br	Datum mjerenja	pH vrijednost	Optimalna vrijednosti prema Direktivi (EU) 2020/2184	pH
1.	23.5.2023	7,54	7,0 – 8,5	
2.	29.5.2023	7,53		
3.	5.6.2023	7,46		
4.	13.6.2023	7,54		
5.	19.6.2023	7,46		
6.	5.7.2023	7,68		

Slika 5: Dijagram pH vrijednosti

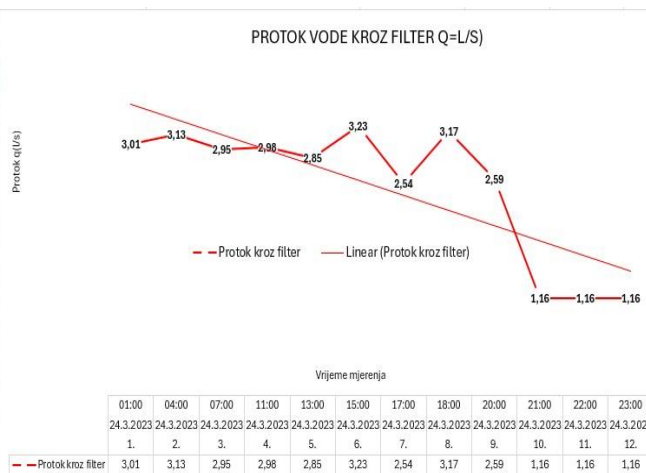
2.1.5. Rezultati laboratorijskih analiza protoka kroz filtersku ispunu

U cilju sagledavanja stanja i analiziranja učinkovitosti filterske ispune izvršena su mjerenja protoka kroz filtersku ispunu q (l/sec) i prikazana su u *tabeli 8*. Mjerenja su pokazala da trajanjem mutnoće iznad povećanih dozvoljenih koncentracija vremenom se smanjuje protok filtrirane vode kroz filtersku ispunu, što je prikazano na dijagramu *slika 6*. Prikazana je linija pada protoka kroz filtersku ispunu u toku jednog dana od protoka $q=3,01$ l/sec u 01:00 sata na $q=1,16$ l/sec u 23:00 sata ili smanjenje protoka od $\Delta q=1,85$ l/sec.

Može se konstatovati na osnovu provedenih mjerenja da ukoliko je trajanje mutnoće duže, brzo dođe do potpunog smanjenja protoka i obustavljanja rada filtera te potrebu njegovog pranja. Učestalo pranje filtera poskupljuje proces pripreme vode i utiče na ekonomsku cijenu vode kao i na njen kvalitet. Svaka filterska stanica treba shodno prirodnim karakteristikama i kvaliteti sirove vode s jedne strane i vrste filterske ispune i tipa filtera s druge strane, odrediti pri kojoj vrijednosti ^0NTU treba isključiti filtere iz rada. Šuvalija S, Mekić N. [2], istražujući efikasnost filterskog postrojenja Karašnica u Ilijašu, utvrdili su mjerenjima da bi filteri radili efikasno potrebno je da mutnoća sirove vode na ulazu u postrojenje bude manja od $40 ^0\text{NTU}$, dok na ulazu u proces filtracije treba biti manja od $20 ^0\text{NTU}$.

Tabela 8. Rezultati mjerenja mutnoće i protoka vode kroz filter [4],

R. br.	Datum mjerenja	Vrijeme mjerenja	Mutnoća ⁰ NTU	Protok kroz filter (q=l/s)
1.	24.03.2023	01:00	5,04	3,01
2.	24.03.2023	04:00	4,99	3,13
3.	24.03.2023	07:00	5,01	2,95
4.	24.03.2023	11:00	5,12	2,98
5.	24.03.2023	13:00	5,35	2,85
6.	24.03.2023	15:00	5,56	3,23
7.	24.03.2023	17:00	5,39	2,54
8.	24.03.2023	18:00	5,61	3,17
9.	24.03.2023	20:00	5,65	2,59
10.	24.03.2023	21:00	5,89	1,16
11.	24.03.2023	22:00	5,75	1,16
12.	24.03.2023	23:00	5,75	1,16



Slika 6: Dijagram promjene protoka kroz filter

ZAKLJUČCI

Provedenim mjerenjima koja su izvedena na filterskoj stanici Sokolina u Ilijašu, te utvrđivanjem vrijednosti parametara sirove vode i to: pH vrijednosti, mutnoće sirove vode, mutnoće nakon filtracije, pritiska na ulazu i izlazu iz filterske ispune (pornih i difuznih), koncentracije rezidualnog hlora u vodi, utvrđena je zavisnost između vrijednosti mutnoće sirove vode i efikasnosti uspostavljenih procesa koagulacije, filtracije i hlorisanja.

Na osnovu rezultata provedenih mjerenja mogu se dati sljedeći zaključci:

-da se na kraškom vrelu Sokolina često javlja povećana mutnoću sirove vode posebno u periodima padavina i topljenja snijega, jer je mjerenjima koja su vršena od januara do avgusta mjeseca 2023. godine, samo je u julu mjesecu bila u dozvoljenim koncentracijama u iznosu od 0,68 NTU⁰, dok je u ostalim mjesecima godine prosječna mutnoća bila iznad dozvoljenih koncentracija. Maksimalno izmjerena mutnoća sirove vode u periodu od januara do avgusta bila je 224,87 NTU⁰ i to mjesecu januaru 2023. godine, što ovo izvorište čini složenim za upravljanje; -bitan element za funkcionisanje filterske stanice je dužina vremena trajanja mutnoće, što je u slučaju stanice Sokolina nepovoljno, jer je mutnoća iznad dozvoljenih koncentracija počevši od

16.01.2023 u 20 sati sa početne 2,63 ⁰NTU do 29.01.2023 u 12 sati kada je izmjerena mutnoća iznosila 0,92 NTU⁰, što znači da je neprekidno trajanje mutnoće bilo 12 dana i 16 sati, odnosno 304 sata, a maksimalna izmjerena mutnoća u tom periodu bila je 128,97 ⁰NTU, što uzrokuje pad kvaliteta, nemogućnost smanjenja mutnoće u filterskoj stanici i isključenje stanice iz rada dok se ne smanji ulazna mutnoća sirove vode;

povećana mutnoća sirove vode utiče na brzinu filtracije i smanjenje proticaja kroz filtersku ispunu, a mjerenja su pokazala da je u 12 mjerenja koja su vršena na dan 24.03.2023. godine

izmjeran minimalni proticaj kroz filtersku ispunu od $q_{\min}=1,16$ l/sec, dok je maksimalni proticaj bio $q_{\max}=3,23$ l/s, pa je odnos između $q_{\max}/q_{\min}=2,78$ puta i predstavlja nagli pad protoka;

brzina filtracije, pad pritiska i protoka u filterskoj ispuni zavise od koncentracije suspendiranim materija u sirovoj vodi, jer su mjerenja pritiska na ulazu i izlazu iz filtereske ispune pokazala da su pritisci različiti pa je na dan mjerenja 20.01.2023. godine u vremenu od 1-24 sata za mutnoću od 60,9 °NTU do 117 °NTU izmjereni pritisci bili na ulazu u filtersku ispunu $p_{\text{ulaz}}=1,95-2,03$ bara, na izlazu p_{izlaz} od 1,51-1,82 bara, dok je difuzni pritisak bio p_{dif} od 0,01-0,25 bara, što pokazuje da se pritisak smanjuje s povećanjem mutnoće te da se javlja i promjenljiv difuzni pritisak $p_{\text{dif,max}}/p_{\text{dif,min}}=0,25/0,01=25$. Imajući u vidu da se difuzija i difuzni pritisak u filterskoj ispuni odvijaju pod uticajem gradijenta koncentracije u ovom slučaju koncentracije suspendovanih materija u sirovoj vodi vidljivo je da je promjena difuznog pritiska vezana za promjenu mutnoće sirove vode;

vršena su mjerenja koncentracije rezidualnog hlora u filtriranoj vodi koja se šalje u distribucionu mrežu, te se izmjerene koncentracije kreću od 0,21 mg/l do 0,35 mg/l što je u granicama dozvoljene koncentracije koja iznosi 0,5 mg/l, prema Pravilniku [1];

imajući u vidu česte i dugotrajne mutnoće vode, potrebno je da se definiše granica mutnoće sirove vode pri kojoj je obavezno isključenje rada filterske stanice Sokolina, te se preporučuje da ta granica bude ≤ 40 °NTU, što bi povećalo kavalitet vode, efikasnost filterske ispune i sačuvalo instalacije stanice od taloženja suspendovanih čestica i obaveze učestalog pranja pa čak i zamjene filterske ispune, kroz koju je prošla sirova voda velike mutnoće;

ukoliko se želi obezbijediti kontinuiran rad stanice Sokolina i smanjenje ulaska velike mutnoće u filtersku ispunu, potrebno je izgraditi taložnik prije procesa filtracije u kojem bi se vršila sedimentacija i provodio efikasan proces koagulacije s potrebnim vremnom trajanja;

preporučuje se da se na stanici Sokolina izgradi rezervoar za obezbjeđenje vode za pranje filtera i snabdijevanje vodom naselja Srednje u periodima isključenja filterske stanice iz rada, što bi unaprijedilo proces pripreme vode za piće i osiguralo kontinuirano vodosnabdijevanje.

LITERATURA

1. Analiza kvaliteta vode u 2023. godini, Laboratorija JKP "Vodostan" d.o.o Ilijaš.
2. Izvještaji o radu filtera postrojenja i laboratorije za 2014, 2015, 2016 i 2023. godinu, JKP Vodostan d.o.o. Ilijaš;
3. Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće ("Sl.glasnik BiH" broj: 40/10, 43/10 30/12 i 2,153-163159 A; 62/17);
4. Šuvalija, Mekić-Analiza rada postrojenja za kondicioniranje vode u općini Ilijaš- Građevinar 73 (2021)