



Зорана Радибратовић¹, Ненад Миленковић² Стручни рад
Билјана Цакић³, Милинд Хунгунд⁴, Синиша Петрић⁵ DOI: 10.5937/VIK25083R

ТЕХНОЛОШКИ ПРОЦЕСИ ОБРАДЕ ПОДЗЕМНИХ ВОДА ПРИМЕЊЕНИ НА ПОСТРОЈЕЊУ ЗА ПРАДУ ВОДЕ У ЗРЕЊАНИНУ

Резиме: Водоснабдевање Зрењанина врши се са изворишта „Михајловачки друм“, на коме се са 34 бунара захвата подземна вода ОВК на дубинама од 50 до 137 m. Квалитет воде, коју карактерише повећана боја, садржај органске материје, амонијака, растворених гасова (метан) и метала (арсен, натријум и бор), захтева комплексан третман. Истраживањем на првом месту ефикасног а онда и оптималног поступка прераде ове воде бавили су се многи домаћи и страни стручњаци са мање или више успеха. У овом раду је дат приказ примењене технологије пречишћавања на фабрици воде у Зрењанину као резултат сарадње фирми Metito Utilities Limited (Pannonian Water д.о.о. Београд) и Института за водопривреду „Јарослав Черни“ д.о.о.

Кључне речи: водоснабдевање, квалитет воде, процеси третмана

CURRENT STATUS OF REGIONAL WATER SUPPLY SYSTEMS IN SERBIA AND POTENTIAL DEVELOPMENT

Abstract: Zrenjanin's water supply is from the spring „Mihajlovacki road“, where groundwater is collected from 34 wells at depths of 50 to 137 m. The quality of the water, which is characterized by an increased color, content of organic matter, ammonia, dissolved gases (methane) and metals (arsenic, sodium and boron), requires complex treatment. Many domestic and foreign experts have been involved in researching firstly the efficient and then the optimal process of processing this water. more or less successful. This paper presents the application of purification technology at the water factory in Zrenjanin as a result of cooperation between companies Metito Utilities Limited (Pannonian Water Ltd Belgrade) and „Jaroslav Cerni“ Water Institute Ltd.

Key Words: water supply, water quality, treatment processes

1. Увод

Зрењанин се водом снабдева са изворишта „Михајловачки друм“ из два линијска система бушених цевастих бунара, који се налази северно од града. Прва линија бунара,

¹ Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд, zorana.radibratovic@jcerni.rs, ORCID: 0009-0007-4444-5481

² Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд, nenad.milenkovic@jcerni.rs, ORCID: 0009-0000-7016-3559

³ Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд, biljana.cakic@jcerni.rs

⁴ Metito Utilities Limited, Београд, milind.hungund@metito.com

⁵ Metito Utilities Limited, Београд, sinisa.petric@metito.com



ближа граду, формирана је 1965-1970. године са 8 бушених бунара дубине око 126 m. Захваћене су подземне воде из основног водоносног комплекса на дубинама 50-77 m и 90-122 m. Друга линија бунара, око 1300 m северно од прве линије, почела се формирати 1978. године изградом четири бушена бунара дубине око 137 m.

Данас је на изворишту активно 34 бунара одакле се захваћена подземна вода шаље на Постројење за прераду воде за пиће (ППВ) а након третмана дистрибуира потрошачима у мрежу.

2. Историјат водоснабдевања Зрењанина

Пут до стабилног водоснабдевања хигијенски исправном водом Зрењанина је био захтеван и дуг. До краја 19. века један део становништва у Зрењанину снабдевао се водом за пиће из градских или сопствених бунара који су били у појединим улицама или двориштима а други се користио водом са Бегеја [1]. У циљу сузбијања болести узрокованих водом лошег квалитета, градска управа је одлучила да се избуше градски бунари, 1885-1895. године, на различитим локацијама. Тек 1904. поднет је први предлог градској скупштини за изградњу водовода а 1962. је оформљено предузеће за водовод и канализацију [2].

Године 1963. избушена су два велика и шест мањих бунара, као и шест хидрофора и водоторањ висок 38 метара, капацитета 1000 m³. Две године касније, водоводна мрежа била је дугачка готово 60 km са 2.300 прикључака за 20.000 становника. Прва истраживања на изналажењу одговарајуће технологије за добијање квалитетне воде за пиће почела су 1975. године од стране словеначке фирме СОП Крошко у сарадњи са аустријском фирмом Owerhorf из Беча. Пар година касније, 1981. године, Пилот постројење пројектовала је и француска фирма Degremont [3]. Крајем 80-их и почетком 90-их година, изналажењу решења третмана ових вода бавио се и Институт за водопривреду „Јарослав Черни“. Године 1987. израдио је пројектну документацију за ППВ капацитета 500 l/s и третманом који се састојао од следећих процесних јединица: аерације, претходне озонизације, коагулације, флокулације таложења, филтрације на брзим пешчаним филтерима, завршне озонизације, филтрације кроз филтере са гранулисаним активним угљем (ГАУ) и дезинфекције. Почетком 90-их израдио је генерални пројекат који је подразумевао решење за третман воде применом мембранске филтрације (нано мембране).

Од 2004. године забрањена је употреба воде за пиће и припрему хране у Зрењанину али и свим околним насељима која користе централни водовод, нарочито због недозвољене концентracије арсена. Сирова вода, осим арсена (50-130 µg/L), има боју (40-70 Pt-Co), мирис и укус, повишен садржај органске материје (ТОС 9-12 mg/L), гвожђа (0,2-0,8 mg/L) и мангана (0,05 – 0,7 mg/L), као и амонијака (0,7-1,9 mg/L). Такође, у сировој води је повишен садржај натријума (190-300 mg/L), док је бор на граници МДК (~1 mg/L) [4].

Проблеми са квалитетом пијаће воде, свакако нису заобишли ни сва друга насељена места (села) са територије града која не користе централни водовод, већ имају сопствене бунаре и водоводну мрежу. Након забране коришћења воде за пиће у Зрењанину и



насељеним местима Арадац, Елемир, Клек, Тараш и Меленци, формирана је Комисија која је имала за задатак да прати изналажење најоптималнијег технолошког поступка за пречишћавање воде.

Комисија као и стручна служба ЈКП „Водовод и канализација“ је од самог почетка имала став да се свакој заинтересованој фирми омогуће једнаки услови за испитивање на Пилот постројењу у циљу добијања воде за пиће, услов је био свеобухватно решење по свим незадовољавајућим параметрима. На комплексност прераде указује велик број фирми које су покушале да докажу ефикасност својих технологија. Решавање ове проблематике обновљено је 2002. године још пре доношења Решења санитарне инспекције о забрани употребе воде за пиће. Испитивања су вршена ради утврђивања примена нових технологија, хемијских средстава и поступака који се примењују у процесима пречишћавања питких вода. До 2004. године, своје Пилот системе поставили су: „Universal Aqua Technologies“ (САД), „Waterlink“ (Немачка), „Culligan“ (Италија), „Zenon“ (Канада-Мађарска), „Energo control“ (Словачка), „Hidrofilt- Purator“ (Мађарска), „Linde“ (Немачка), НР „Institut za opštu i fizičku hemiju“ и АТН „Slap“ из Србије. Сваки од ових Пилота примењивао је различите прилазе у решавању технологије пречишћавања воде, а добијени резултати контролисани су у лабораторији ЈКП „Водовод и канализација“ Зрењанин, Заводу за здравствену заштиту Зрењанин и „Биоеколошком центру“ Зрењанин [5].

У периоду 2005-2006. година, на основу међународног пројекта у оквиру Немачко-српског пословног савета реализована су наменска испитивања квалитета подземних вода на територији општина Кикинда, Нови Бечеј, Бечеј и Зрењанин. Реализована истраживања имала су за циљ утврђивање квалитета и могућности унапређења водоснабдевања на територији ових општина. За третман ових вода, које се одликују високим садржајем органских материја, хуминских материја, гасова (CH_4 , CO_2 и H_2S), гвожђа, мангана, амонијака, арсена и бора, закључак је био да је углавном потребна примена процеса аерације, флокулације, озонизације, филтрације и дезинфекције. Овим процесима обраде воде се углавном достиже задовољавајући квалитет за пиће али је такође утврђено да је за уклањање/смањење садржаја арсена, натријума, амонијака и хуминских материја потребна примена сложених и скувих поступака мембранске филтрације (РО, НФ).

Спроведена испитивања на различитим пилот постројењима протеклих 30 година су дала и позитивне и негативне резултате, и као таква су одредила полазне основе и могућу технологију прераде на будућем постројењу. Након ових пилот испитивања, реализована су истраживања алувијалних наслага Тисе, у циљу испитивања могућности формирања изворишта уз Тису, са којег би се плитким бунарима на рачун обалске филтрације, обезбедиле додатне количине воде за будуће водоснабдевање ових општина.

У међувремену је израђена и Стратегија водоснабдевања АП Војводине која је, између осталог, детаљно сагледала квалитет вода за појединачна насеља и дала је предлог третмана. Конкретно, за Зрењанин овом Стратегијом је предвиђен процес мембранске филтрације уз адекватан предtretман воде. Једно од решења проблема водоснабдевања Зрењанина је виђено у изградњи Регионалног водоводног система



таложника, након чега се избистрена вода враћала на почетак процесне линије, док се настали муљ (након кондиционирања полиелектролитом) водио на обезводњавање (на центрифуги) а затим одвозио и одлагао на санитарну депонију.

Постројење са овим концептом третмана подземне воде није могло да оствари континуалну производњу воде за пиће у складу са Правилником о хигијенској исправности воде за пиће (*Сл. лист СРЈ*, бр. 42/98 и 44/99 и *Сл. гласник РС*, бр. 28/2019). На основу накнадно спроведених анализа закључено је да на постројењу не постоји адекватан предtretман сирове воде што је за последицу имало веће оптерећење на мембранској филтрацији, што је довело до отежаног рада, учесталијег прања мембрана и продора гасова (метана) у инсталацију а на крају и до експлозије.

4. Унапређено Постројење за прераду воде 2023-2025. година

Након преузимања постројења, нови власник, фирма Metito Utility Limited („Pannonian Water“ доо Београд), приступила је сагледавању стања постојеће технологије и могућностима, као и начину унапређења предtretмана и рехабилитацији постојећих линија мембранске филтрације и јонске измене.

Решење реконструкције и доградње постојећег постројења резултат је сарадње „Pannonian Water“ са Институтом за водопривреду „Јарослав Черни“ из Београда. У складу са тим, реализован је нови допуњен предtretман у току 2023-2025. године на фабрици воде који обухвата:

- дегазацију воде у затвореним колонама (торњевима),
- таложење са процесом флотације раствореним ваздухом (DAF - Dissolved Air Flo-tation),
- процес филтрације на мултимедијалним филтерима (ММФ),
- додатни третман на кертриџ филтерима пре РО,
- и изградњу резервоара чисте воде капацитета 3000 m³.

Први процес који је уведен као допуна постојећем третману је аерација воде. Процесом аерације вода се доводи у контакт са ваздухом у циљу размене гасова или испарљивих једињења. Вода прима кисеоник из ваздуха, док се одстрањују метан, угљендиоксид, амонијак, водоник-сулфид и органске супстанце које води дају непријатан мирис и укус. Концентрација метана у води се креће од 12 до 21 mg/L. Сам метан није токсичан али има експлозивна својства уколико се нађе у одређеној концентрацији (уделу) у ваздуху. Поступак дегазације се одвија у колонама (торњевима), где ваздух и вода теку супротно струјно. Колоне су са испуном велике специфичне површине око 140 m²/m³ чиме се омогућава бољи контакт воде и ваздуха. Процесима дегазације растворени гасови (метан, водоник сулфид и др.) из воде прелазе у струју ваздуха који се одоздо уводи помоћу дуваљке-вентилатора. Усвојени однос ваздуха и воде 20:1 гарантује да концентрација метана у испуштеном ваздуху буде ниска.

Након дегазације аерисана вода се гравитационо уводи у прву комору оксидационог танка, где се врши дозирање натријум хипохлорита у циљу делимичне оксидације и преддезинфекције.



Слика 2. Дегазација
Figure 2. Degassing

Након оксидационог танка вода се уводи на флотацију. ДАФ је најчешће примењен на постројењима за третман површинске воде. Примери употребе ДАФ на подземним водама су ретки, а за њихов третман се уобичајено користи аерација (са ретензијом) и (био)филтрација. Међутим, постоје примери употребе ДАФ за уклањање гвожђа и мангана (препоруча SUEZ за лаке флокуле хидроксида) уместо процеса седиментације. Такође, доказана је његова примена у третману вода са повишеним садржајем арсена и показан стабилан рад и при ниским температурама. Како би се доказала ефикасност и потврдила одлука о примени ДАФ-а у третману подземних вода на постројењу у Зрењанину, приступило се вишенедељним тестирањима у лабораторији Института за водопривреду „Јарослав Черни“. Ова тестирања су дала задовољавајуће резултате у погледу уклањања критичних параметара боје, органске материја и арсена. Осим тога, спроведена су пилот тестирања у компанији „Sigma DAF Clarifiers“ у Шпанији са сировом водом из Зрењанина. На основу свих тестирања применом $\text{FeCl}_3 + \text{PAC}$, показала се задовољавајућа ефикасност у опсегу примене FeCl_3 од 15 – 25 mg/L и PAC 20 – 30 mg/L, док се доза полиелектролита кретала до 0,5-1 mg/L.

У складу са тим, након аерације, усвојен је третман на флотацији раствореним ваздухом са претходним дозирањем хемикалија за коагулацију и флокулацију. Процес флотације се састоји од уклањања лаганих суспендованих материја и претходно формираних флокула, које се помоћу струје рециркулисане воде засићене мехурићима ваздуха, подижу на површину воде и уклањају скрепером [8]. ДАФ јединице су опремљене и пакетима плоча (ламела) како би се обезбедила додатна површина за

таложее, што помаже ефикаснијој сепарацији суспензија и струје воде. Димензионише се за хидраулично оптерећење од $\leq 5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$, укључујући проток рецикулисане воде. ДАФ јединица је опремљена скрепером за уклањање испливалих суспензија. Исталожени муљ на дну јединице се стајањем додатно згушњава и делимично обезводњава помоћу пужног система.



Слика 3. Флотација (ДАФ)

Figure 3. Dissolved Air Floation (DAF)

Оптимальан рад ДАФ система остварен је подешавањем процеса коагулације и флокулације дозирањем различитих хемикалија и доза, као и адекватно подешавања уноса ваздуха у ДАФ. Опсег оптимальних доза износи за поли-алуминијумхлорид 30-40 mg/L (РАС), гвожђе-хлорида 25-30 mg/L (FeCl_3) и полиелектролита од 0,2 – 0,5 mg/L (РЕ). Као могућност је остављено дозирање натријумхипохлорита у циљу предезинфекције и оксидације у дозама до 5 mg/l.

Након ДАФ вода је требала да иде на постојећу ултрафилтрацију. Како би се утврдила могућност коришћења постојеће опреме, предузете су активности на утврђивању стања мембранске филтрације, које су показале да су мембране УФ оштећене што је захтевало њихову потпуну замену и довело у питање ефикасност рада истих. Како би се постигли најбољи ефекти рада постројења, приступило се још једном унапређењу постојећег предтретмана пре реверсне осмозе (РО). Спроведена су наменска пилот испитивања која су показала да филтрација на мултимедијалним филтерима песак-антрацит даје добре резултате у припрему воде за РО, уз адекватно подешавање рада ДАФ система (корекције врсте и дозе хемикалија и количине унетог ваздуха, одржавајући SDI (Silt density index) индекс испод 3).

На локацији постројења, у периоду од 22.03. до 26.06.2024. године реализована су пилот истраживања на мултимедијалним песак-антрацит филтерима (ММФ). Испитивања је извршила фирма „Милановић“ из Крагујевца. Улога ММФ филтера у процесу третмана воде на ППВ Зрењанин била би заштита реверсне осмозе и на првом месту у уклањању преосталих суспендованих материја и мутноће. Закључак спроведених

испитивања је да се мултимедијални филтери могу користити у претходном третману пре колоне реверсне осмозе и јонске размене, утврђена је оптимална брзина за пројектовање мултимедијалних филтера, утврђен је најефикаснији полимер, као и да је потребна доза полимера значајно нижа у поређењу са претходним тестираним полимерима, што је уједно и доказ компатибилности предметног полимера за ову специфичну врсту третмана улазне воде и филтрације и да је у пречишћеној води вредност SDI је била <3 , што је задовољавајуће са аспекта њеног даљег третмана да РО.



Слика 4. Мултимедијални филтери (ММФ)

Figure 4. Multimedia filters (MMF)

У складу са спроведеним тестирањима, мултимедијални филтери су предвиђени за „полирање“ воде након ДАФ-а, у циљу уклањања, на првом месту укупних суспендованих материја и мутноће, као и захтевану вредност SDI за процес реверсне осмозе. Предвиђено је 13 затворених челичних филтера под притиском од којих су 12 радних а један додатни је у stand-by моду (у случају ремонта) са брзином филтрације 12 m/h [9]. Филтери су постављени у три паралелне линије, од којих две са по пет филтера и трећа линија са три филтера са остављеним простором за још два филтера за потенцијално будуће повећање капацитета прераде. Филтери се перу водом и ваздухом, једном дневно или у зависности од степена задрљаности.

Након ММФ вода се дистрибуира у два правца: директно на јонску измену или на кертриџ филтере од 5 μm , као предtretман за РО. Након кертриџ филтера вода се шаље ка РО и ка новом резервоару чисте воде (за блендинг односно потребно мешање воде након третмана воде реверсном осмозом).

Чиста вода се након третмана реверсне осмозе, јонске измене и воде за мешање одводи у нови резервоар чисте воде одакле се дистрибуира у мрежу ка потрошачима.



Слика 4. Ситуација постројења са новим објектима 2025. година
Figure 5. Layout of WTP with new structures 2025.

5. Пуштање у пробни рад и доказивање ефикасности рада постројења

Након завршених грађевинских радова и опремања новим технолошким јединица, као и ревитализацијом постојећих, постројење је пуштено у пробни рад у мају 2025. године. Током пробног рада вршена је оптимизација свих процесних јединица и спроведена су узорковања и анализе воде од стране релевантних институција из Зрењанина, Новог Сада и Београда. Ефикасност процеса по критичним параметрима је током пробног рада била већа од очекиване и то 80-85% за боју, 97-99% за арсен (као и гвожђе), 85-90% за органску материју, 37-43% за натријум и 90-94% за амонијак.

У складу са добијеним резултатима рада постројења добијена је санитарна сагласност а затим и употребна дозвола за комплетно постројење за прераду воде у Зрењанину, чиме је доказана ефикасност рада постројења које испоручује воду у складу са Правилником о хигијенској исправности воде за пиће по свим физичко-хемијских и микробиолошким параметрима.

6. Литература

- [1] Монографија *Петровград*, 1938.
- [2] Племенита течност, лист *Зрењанин*, 2019.
- [3] Стратегија одрживог развоја града Зрењанина за период од 2014. године до 2020. године, наручилац: Република Србија, АП Војводина
- [4] План развоја града Зрењанина за период 2023-2030. године, наручилац: Република Србија, АП Војводина, Град Зрењанин
- [5] Претходна Студија изводљивости изградње Регионалног водоводног система Дубовац – Зрењанин – Кикинда, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, наручилац: АП Војводина, Покрајински секретаријат за енергетику и минералне сировине, 2006.



46. Конференција „ВОДОВОД И КАНАЛИЗАЦИЈА `25“

- [6] Стратегија водоснабдевања и заштите вода у АП Војводина, Универзитет у Новом Саду, Природно.-математички факултет, Департман за хемију, наручилац: Покрајински секретаријат за науку и технолошки развој, 2009.
- [7] Пројекат за извођење (ПЗИ) за ППВ Зрењанин, „Маунтин“ доо, наручилац: „Gruppo Zilio“ доо, 2017.
- [8] Сепарат пројекта за грађевинску дозволу (ПГД) за предтретман на ППВ Зрењанин, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, наручилац: „Pannonian Water“ доо, 2023.
- [9] Сепарат пројекта за грађевинску дозволу (ПГД) за мултимедијалне филтере на ППВ Зрењанин, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, наручилац: „Pannonian Water“ доо, 2024.