

## PRANJE I DEZINFEKCIJA VODOVODNE MREŽE NA POLIGONU NACIONALNE VOZAČKE AKADEMIJE NAVAK U SUBOTIŠTU

Tomislav Trišović<sup>1,3</sup>, Svetomir Milojević<sup>2</sup>, Branimir Z. Jugović<sup>3</sup>, Milan Nikolić<sup>1</sup>, Zaga Trišović<sup>4</sup>

**Izvod:** U radu je prikazan jednostavan i jeftin postupak za čišćenje i dezinfekciju vodovodnog sistema na poligonu za ispitivanje automobila u Subotištu. Vodovodni sistem je bio u eksploataciji tri godine bez ikakvog tretmana vode. Povećana temperatura vode do čak 28°C i odsustvo dezinfekcionog sredstva uzrok je pojave biofilma u cevovodu. Cevovod je saniran čišćenjem i ispiranjem, neutralizacijom, hiperhlorisanjem i primenom peroksida i srebra. Ustanovljen je efekat operativnih parametara (koncentracija i vrsta sredstva) za proces čišćenja, pranja i dezinfekcije cevovoda. Prikazan je i novi metod frontalnog puštanja „čepova“ testiranih sredstava za čišćenje i pranje, a uz minimalnu potrošnju kako bi troškovi procesa bili što niži. Rezultati su pokazali da je pre tretmana postojalo bakteriološko zagađenje cevovoda bakterijom *Pseudomonas aeruginosa*. Međutim, posle izvršenih procesa čišćenja, pranja i dezinfekcije voda na svim točecim mestima u poslovnim objektima i hidrantskoj mreži, bila po Pravilniku o bakteriološkoj ispravnosti pijaće vode. Pokazano je da je najefikasnije sredstvo za oksidaciju i dezinfekciju kompozitno sredstvo na bazi vodonik peroksida i koloidnog srebra „Silozon“ u koncentraciji do 20 mg/L.

**Ključne reči:** vodovodni sistem, čišćenje, dezinfekcija, vodonik-peroksid, koloidno srebro

### Uvod

Prema zvaničnim statističkim podacima, u odnosu na ukupan broj domaćinstava, u Srbiji je oko 80% domaćinstava priključeno na javni ili lokalni vodovod („Službeni glasnik RS“ broj 37/2011). Prema dokumentu Nacionalna strategija održivog razvoja Srbije, priključak na javni sistem vodosnabdevanja ima 63% stanovništva, dok je lokalnim vodovodima obuhvaćeno još 14% stanovništva (Veljković, 2010). Voda je osnovna životna namirnica za ljude, životinje i biljke. Voda za različite namene ima i zahtev za različitim kvalitetom. Voda za piće mora da ima širok spektar merljivih karakteristika, jedinjenja ili sastojaka koji mogu uticati na njen kvalitet. Postoje šest kategorija pokazatelja koji mogu kontaminirati vodu za piće, a to su: (1) mikroorganizmi, (2) dezinficijensi, (3) nusproizvodi dezinficijensa, (4) neorganske hemikalije, (5) organske hemikalije, i (6) radioaktivni elementi (Australian Government, National Health and Medical Research Council, 2004). Zbog toga je neophodno u vodovodnom sistemu pratiti koncentraciju patogenih bakterija i hemijskih supstanci

<sup>1</sup>Univerzitet u Kragujevcu, Agronomski fakultet u Čačku, Cara Dušana 34, Čačak, Srbija (trisa@tmf.bg.ac.rs);

<sup>2</sup>Fakultet tehničkih nauka, K. Miloša 7, 38220 Kosovska Mitrovica, Srbija;

<sup>3</sup>Institut tehničkih nauka SANU, K. Mihailova 35/4, 11000 Beograd, Srbija;

<sup>4</sup>Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, 11 000 Beograd, Srbija;

koje imaju potencijal da prouzrokuju infekcije i zdravstvene probleme. Najosetljiviji na infekcije su bebe i deca, osobe sa oštećenim imunim sistemom, bolesnici i stara lica. Patogeni organizmi koji predstavljaju posebnu pretnju su: bakterije, virusi i protozoe koji izazivaju različita oboljenja, od blagog gastroenteritisa to ozbiljnih dijareja, dizenterije, hepatitisa, kolere ili tifusne groznice.

Tipična oboljenja koja se prenose vodom, a izazivaju ih mikroorganizmi, vode poreklo iz gastrointestinalnog trakta (želudac, tanko crevo i debelo crevo) ljudi, ali i domaćih životinja. Kontaminacija vode mikroorganizmima nastupa u uslovima kada otpadne materije prodiru u podzemne vode izvorišta vode za piće. U bakterije koje se prenose na ovaj način spadaju *Salmonella spp.*, *Shigella spp.*, *enterovirulentne Escherichia coli*, *Vibrio cholera*, *Yersinia enterocolitica*, *Campylobacter jejuni* i *C. coli*.

Postoje različite vrste bakterija koje se normalno javljaju u životnoj sredini i mogu da izazovu infekcije kod ljudi kao što su oportunistički patogeni, odnosno mikroorganizmi koji izazivaju bolest samo ukoliko je izostala normalna otpornost organizma. Najviše su pod rizikom: stari, veoma mladi, osobe s opekotinama, osobe koje su bile podvrgnute hirurškoj intervenciji ili one koje su teško povređene, kao i osobe sa ozbiljnim oštećenjem imuniteta. Ukoliko ovakve osobe koriste vodu za piće ili kupanje koja je bakteriološki neispravna (odnosno, sadrži veliki broj oportunističkih patogena) kod njih se mogu javiti infekcije kože, sluzokože oka, uha, grla i nosa. Primeri ovakvih oportunističkih bakterija su *Pseudomonas aeruginosa* i *Klebsiella sp.*

Posebnu grupu predstavljaju modrozeleno bakterije, cijanobakterije ili modrozeleno alge, koje se javljaju kao pojedinačne ćelije, vlakna ograničene dužine ili kolonije, a njihova brojnost im omogućava da migriraju ka površini vode, što je posledica njihove reakcije na svetlost. Cijanobakterije nastanjuju sve prirodne vode, a problem predstavljaju jedino onda kada ih ima u velikom broju (cvetovima). U uslovima eutrofikacije povećava se i cvetanje cijanobakterija. Prisustvo cijanobakterija u vodi za piće značajno je prvenstveno zbog intracelularnih toksina koje one proizvode. Ovi toksini pripadaju trima vrstama: hepatotoksini, koji oštećuju ćelije jetre; neurotoksini, koji oštećuju nervne ćelije, i cilindrospermopsin, koji može da izazove oštećenja jetre, bubrega, gastrointestinalnog trakta i krvnih sudova. Unošenje toksina koje luče cijanobakterije ne dovodi do letalnog ishoda, ali konzumiranje vode koja sadrži ove toksine može da izazove gastroenteritis. Neprijatan ukus i miris vode može da nastane usled jedinjenja koja stvaraju određene vrste algi, cijanobakterije (modrozeleno alge), bakterije i ponekad protozoe (Nacionalna strategija održivog korišćenja prirodnih resursa i dobara Republike Srbije, 2007).

Unutar cevovoda, ako je temperatura vode iznad 20°C, može doći do stvaranja biofilma što će kao posledicu imati bakteriološki neispravnu vodu u cevovodu. Potencijalni uzroci su još i konstrukcija instalacija, prisustvo jedinjenja fosfora, azota i kiseonika. Prvo se na unutrašnjoj površini cevovoda formiraju naslage određenih jedinjenja (jedinjenja kalcijuma, magnezijuma, gvožđa ili čestica mangana). Tako formirani podsloj je idealna podloga za razvoj biofilma. Bakterije, kvasci i plesni prijanjaju za ove čestice i zatim formiraju biofilm, sluzavi sloj po unutrašnjosti cevovoda. Ovo dovodi do nastanka okruženja koje je idealno za razvoj mikroorganizama. Konstrukcija vodovodnih instalacija je takođe čest uzrok nastanka biofilma. Kada se za instalaciju koriste PVC cevi niske gustine, postoji visoka

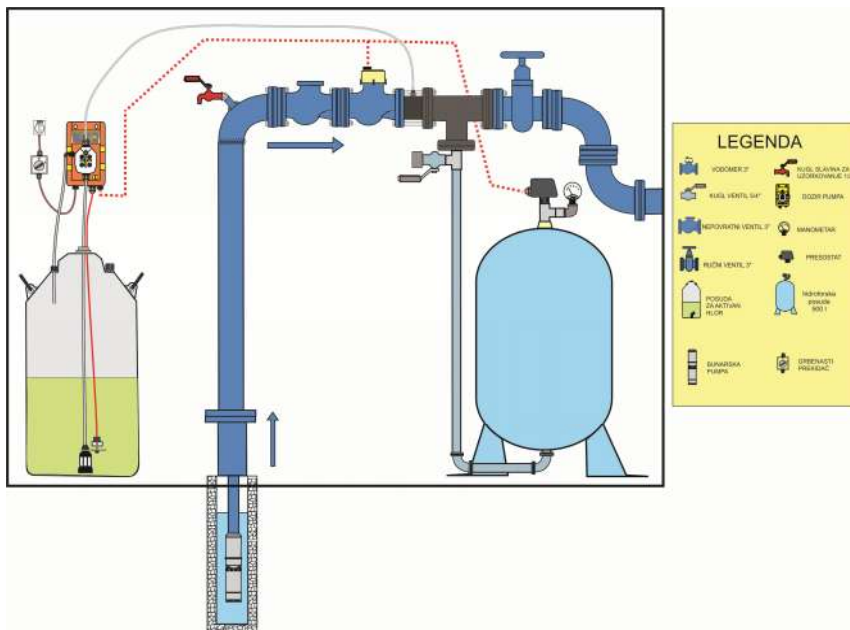
verovatnoća da će doći do razvoja biofilma, ali i upotreba drugih tipova cevi je takođe nedovoljno dobra. Pored navedenog, na mnogim cevovodima često vidamo preduge cevovode sa nepotrebnim krivinama, slepim završecima i zatvorenim cevima. Svaka krivina i svaka zatvorena cev predstavljaju rizik od stajaće vode koja dovodi do stvaranja naslaga materijala, čime se stvaraju uslovi za formiranje biofilma.

Zagađeni cevovodi se mogu očistiti. Čišćenje se može sprovesti u tri koraka:

1. Kiselo – bazno pranje (poželjno je koristiti limunsku kiselinu u 1-2% rastvoru, a potom natrijum-hidroksid do 5%);
2. Razlaganje biofilma tretmanom sa jakim oksidansima. Ovo zahteva visoku dozu hidrogen-peroksida (100 do 300 ppm), hlor-dioksida ili formaldehida.
3. Instalacija uređaja za kontinualnu dezinfekciju kao preventive ponovnom stvaranju biofilma. Neophodno je konstantno pratiti koncentraciju rezidualnog dezinficijensa, a takodje i povremeno koristiti ručne testere.

### **Materijal i metode rada**

Centar NAVAK se nalazi pored autoputa Beograd-Zagreb u selu Subotištu. Na placu od blizu 40 hektara se nalaze poslovni objekti i asfaltna pista sa svim sadržajima za ispitivanje automobila u različitim eksploatacionim uslovima. Ovaj centar ima sopstveni vodovodni sistem koji podeljen na dva dela: sanitarni i hidrantski. Bunar je dubok oko 120 metara, a zacevljen je sa cevima fi 200. Na 80 metara od nivoa tla u bunaru je instalirana štapićasta crpna pumpa koja daje protok od oko 8 litara u sekundi. Iz bunara voda se grana na dva kraka. Jedan krak je zapravo hidrantska mreža i instalirana je neposredno duž auto piste, dok je drugi krak takodje instaliran pored piste (zbog hidranata) i ulazi u poslovne objekte koji se snabdevaju sanitarnom vodom. S obzirom na to da je centar javnog karaktera neophodno je da sanitarna i hidrantska voda ispunjavaju uslove Pravilnika o hemijskoj i bakteriološkoj ispravnosti pijaće vode iz 1998. godine. Na osnovu bakterioloških analiza vodovodnog sistema NAVAK u Subotištu, a koji je radio Zavod za javno zdravlje Beograd (ZZJB), pokazano je da voda nije bakteriološki ispravna na delu hidrantskog cevovoda zbog prisustva bakterije *Pseudomonas aeruginosa*. Kako bi se rešio problem bakteriološke ispravnosti instalirana je oprema 10. 8. 2014. godine za kontinualno hlorisanje vode (Slika 1).



Slika 1. Sklopni crtež za kontinualnu dezinfekciju vode upravljaju protokom vode na vodovodnom sistemu NAVAK

Graph. 1. Scheme for continuous disinfection of water managed by the flow of water on the NAVAK water supply system

Kao što se vidi sa Slike 1 neposredno na izlasku cevovoda iz bunara je instaliran impulsni vodomer koji je električno povezan sa dozirnom membranskom pumpom i presostatom na hidroforskoj posudi (električne veze na Slici 1 su prikazane isprekidanom linijom). Neposredno pre vodomera nalazi se slavina za uzorkovanje sirove vode i posle nje nepovratni ventil. Mesto za doziranje sredstva za dezinfekciju nalazi se neposredno posle vodomera. Na ovaj način moguće je istovremeno uzorkovati i sirovu i dezinfikovanu vodu. Uređaj za doziranje se sastoji od posude u koju se sipa dezinfekciono sredstvo na bazi hlornih jedinjenja ili peroksida. Uključenje crpne i dozirne pumpe diktira presostat koji se nalazi na hidroforskoj posudi. Kada se odvrnu slavina i krene potrošnja vode u vodovodnom sistemu dolazi do pada pritiska u hidroforskoj posudi koji meri presostat. Kada pritisak padne ispod 2 bara presostat uključuje crpnu i dozirnu pumpu. Dozirna pumpa neće dozirati dezinficijens sve dok joj impulsni vodomer ne daje impulse koji uslovljavaju njen intenzitet doziranja. Impulsni vodomer ima relejni brojač koji daje jedan impuls na protekli jedan litar vode.

Hiperhlorisanje (injektiranje povećane koncentracije hlora u cevovodu i do 50 mg/L) je ostvareno sa pomenutim dozirnim sistemom, tako da je pumpa u konstantnom modu na maksimalnom broju otkućaja od 180 otkućaja u minuti ubacivala oko 180 mL rastvora hipohlorita. Koncentracija rastvora natrijum-hipohlorita je iznosila 120 g/L, za protok od 432 L/min. Isticanje pri ovom protoku je ostvareno na svim točecim i hidrantskim mestima. Po dostizanju koncentracije od 50 mg/L, na svim

točecim mestima obustavljeno je dalje doziranje natrijum hipohlorita, i tako hiperhlorisana voda ostavljena je u vremenskom periodu od 24h. Posle kontaktnog vremena od 24h vodovodna mreža je isprana na svim točecim mestima, sve dok nije registrovano potpuno odsustvo rezidualnog hlora.

### Rezultati istraživanja i diskusija

U cilju potvrde uspešnosti hiperhlorisanja vodovodne mreže angažovana je 14.8.2014. godine Akreditovana laboratorija "Anahem". Uzorak je uzet na poslednjem točecem mestu sanitarne vode, na česmi poslovnog objekta i na poslednjem hidrantu na kraju piste. Dobijeni rezultati iz "Anahem" laboratorije br. 14081401 su pokazali da ispunjavaju bakteriološki standard za zatvoreno izvorište i standard za kontinualno dezinfikovane vode. Investitor je nezavisno angažovao i Gradski zavod za javno zdravlje Beograd za uzorkovanje i analizu vode. Rezultati obe analize uzete u poslovnom objektu – NAVAK Subotičke pokazuju da je sanitarna voda bakteriološki ispravna, ali da je voda u hidrantskoj mreži bila još uvek kontaminirana sa bakterijom *Pseudomonas aeruginosa*. Analize takođe pokazuju da je uklonjen i vodonik sulfid koji je davao neprijatan miris. Gradski zavod, a na zahtev nadzornog organa, uzeo je uzorak i sa poslednje tačke hidrantske mreže koja nije adekvatno mesto za uzorkovanje, jer ne zadovoljava standard ISO 5667-5 i ISO 19458-2006 (Republički zavod za statistiku 2007, Službeni glasnik RS", broj 125/04). U tom uzorku je detektovana bakterija *Pseudomonas*.

Zbog toga dalje aktivnosti u procesu dezinfikovanja cevovoda su ostvarene 30.8.2014. godine, pri čemu je primenjeno hiperhlorisanje celokupne mreže i sa hlordioksidom koncentracije 4mg/L. Kao i u prethodnom slučaju, posle 24 h mreža je isprana do nepostojanja rezidua hlordioksida. Po nalogu nadzornog organa Gradski zavod je i posle ovog tretmana uzeo uzorak vode na poslednjem točecem mestu hidrantske mreže. I pored upotrebe hlordioksida, testirani uzorak je ponovo pokazao prisustvo bakterije *Pseudomonas aeruginosa*. Da bi odstranili prisustvo bakterije *Pseudomonas aeruginosa* izvršeni su dodatni radovi (13.9.2014 godine), primenom hiperhlorisanja hidrantske mreže sa hlordioksidom pet puta veće koncentracije nego prvi put (20-25 mg/L). Nažalost i posle ovog tretmana rezultati analize su pokazali prisustvo bakterije *Pseudomonas aeruginosa* u hidrantskom delu mreže.

Posle svih ovih tretmana sredstvima za dezinfekciju pristupilo se operaciji hemijskog čišćenja i pranja hemijskim putem. Takođe su mehanički oprani svi hidranti sa deterdžentom. Proces hemijskog pranja i čišćenja hidrantskog cevovoda je ostvaren 10.11.2014.godine u nekoliko odvojenih procesa, primenom kiselih i baznih sredstava, kao i sredstvima za dezinfekciju na bazi aldehida. U Tabeli 1 su navedene količine i vrste sredstava za hemijski tretman vode tokom 24h.

Tabela 1. Vrste i količine sredstava za hemijski tretman voda  
 Table 1. Types and quantities of chemicals used for water treatment

1.	<i>Limunska kiselina</i>	<i>kg</i>	<i>26</i>
2.	<i>Natrijum-hipohlorit 120 g/L</i>	<i>kg</i>	<i>56</i>
3.	<i>Formaldehid 35%</i>	<i>L</i>	<i>30</i>
4.	<i>Natrijum-hidroksid</i>	<i>kg</i>	<i>10</i>
5.	<i>Silozon 25</i>	<i>kg</i>	<i>50</i>

Posle višečasovnog ispiranja cevovoda uzet je uzorak 11.11.2014. godine i uradene su bakteriološke analize na hidrantskom delu cevovoda, i jedna analiza sanitarne vode u poslovnom objektu. Voda u hidrantskom delu cevovoda je bila mikrobiološki ispravna, ali se bakterijska kultura *Pseudomonas* pojavila u poslovnom objektu tj. u delu cevovoda koji nije bio izložen pranju i čišćenju.

Da bi se uklonila bakterijska kultura i u poslovnom delu objekta 29.12.2014. godine celokupan cevovod tertian je najjačim oksidansom na bazi vodonik-peroksida i koloidnog srebra u dva navrata 29 i 30.12.2014. godine.

Posle ovog tretmana, kontaktnog vremena od 24 h, ispiranja i uzorkovanja kao i u prethodnim slučajevima, dobijene analize od 30.12.2014. i 21.1.2015. godine na hidrantskom i sanitarnom delu vodovoda su pokazale mikrobiološku isravnost vode po standardu za pijaću vodu. Posle poslednjih analiza može se zaključiti da je voda na svim točecim mestima sanitarne vode i na svim hidrantima gde je uziman uzorak, bila bakteriološki ispravna i po standardu koji zahteva naš zakon definisan Pravilnikom o hemijskoj ispravnosti vode za piće (Službeni list SRJ 42/98).

### Zaključak

Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da:

1. Sredstva za dezinfekciju i oksidaciju kao što su natrijum-hipohlorit i hlor-dioksid u koncentraciji i do 50 mg/L nisu uspešna u procesima uklanjanja bakterije *Pseudomonas aeruginosa* u hidrantskom cevovodu.

2. Čišćenje i pranje cevovoda pre procesa hiperhlorisanja pozitivno utiče na uspešnije dezinfikovanje i uklanjanje bakterija u cevovodu, kao što je *Pseudomonas aeruginosa*, jer povećava efikasnost dezinfekcionog sredstva, a smanjuje kontaktno vreme.

3. Hidrantski izvodi su tako konstruisani da su dobre podloge za razvoj bakterijskih kultura kakva je i *Pseudomonas aeruginosa*.

4. Najefikasnije sredstvo za uklanjanje bakterije *Pseudomonas aeruginosa* je „Silozon“ - sredstvo na bazi vodonik-peroksida i koloidnog srebra u koncentraciji do 20 mg/L.

### Literatura

Australian Government, Australian drinking water guidelines. National Health and Medical Research Council, 2004

Nacionalna strategija održivog korišćenja prirodnih resursa i dobara Republike Srbije, Radna grupa za vodne resurse, Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede/Republička direkcija za vode, 2007

Pravilnik o nacionalnoj listi indikatora zaštite životne sredine („Službeni glasnik RS“ broj 37/2011)

Republički zavod za statistiku, Snabdevanje pitkom vodom, 2007-2009, <http://webrzs.stat.gov.rs>

Veljković N., Unapređenje kvaliteta vode kod lokalnih vodovoda i kanalisanje manjih mesta u Srbiji. Poglavlje – Upravljanje rizicima u lokalnim vodovodnim sistemima, str. 38-57, Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo, Beograd, 2010.

Zakon o sanitarnom nadzoru, "Službeni glasnik RS", broj 125/04.

## WASHING AND DISINFECTION OF AQUEDUCT NETWORK FROM POLYGON OF THE NATIONAL DRIVING ACADEMY NAVAK IN SUBOTIŠTE

*Tomislav Trišović<sup>1,3</sup>, Svetomir Milojević<sup>2</sup>, Branimir Z. Jugović<sup>3</sup>, Milan Nikolić<sup>1</sup>, Zaga Trišović<sup>4</sup>*

### Abstract

Simply and cheap cleaning/disinfection procedure for treatment of aqueduct network from car testing polygon in Subotište was shown. Aqueduct network was exploited for three years without any water treatment. High water temperature up to 28°C and absence of disinfection, resulted in biofilm formation at pipe surface. Pipe-line was improved by cleaning and washing, neutralization, hyperchlorination and application of peroxide and silver. The effect of the process parameters (concentration and type of agent) on cleaning, washing and disinfection of pipe-line was investigated. A new, low-cost method for the use of tested chemicals based on frontal release of "plugs" was established. The results showed that prior to the treatment there was bacteriological contamination of the pipeline with *Pseudomonas aeruginosa*. However, after the performed cleaning, wash and water disinfection process at all points in the business premises and hydrant network, the quality of water was according to Rulebook on the bacteriological correctness of drinking water. The most effective oxidation and disinfection agent has been shown to be a composite solvent based on hydrogen peroxide and colloidal silver "Silosone" at a concentration of up to 20 mg/L.

**Key words:** aqueduct network, cleaning, disinfection, hydrogen peroxide, colloidal silver

---

<sup>1</sup>Univerzitet of Kragujevac, Faculty of Agronomy in Čačak, Cara Dušana 34, Čačak, Serbia (trisa@tmf.bg.ac.rs);

<sup>2</sup>Faculty of Technical Science, K. Miloša 7, 38220 Kosovska Mitrovica, Serbia;

<sup>3</sup>Institute of Technical Sciences SASA, K. Mihailova 35/4, 11000 Beograd, Serbia;

<sup>4</sup>Faculty of mechanical Engineering, Kraljice Marije 16, 11 000 Belgrade, Serbia;