

SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE



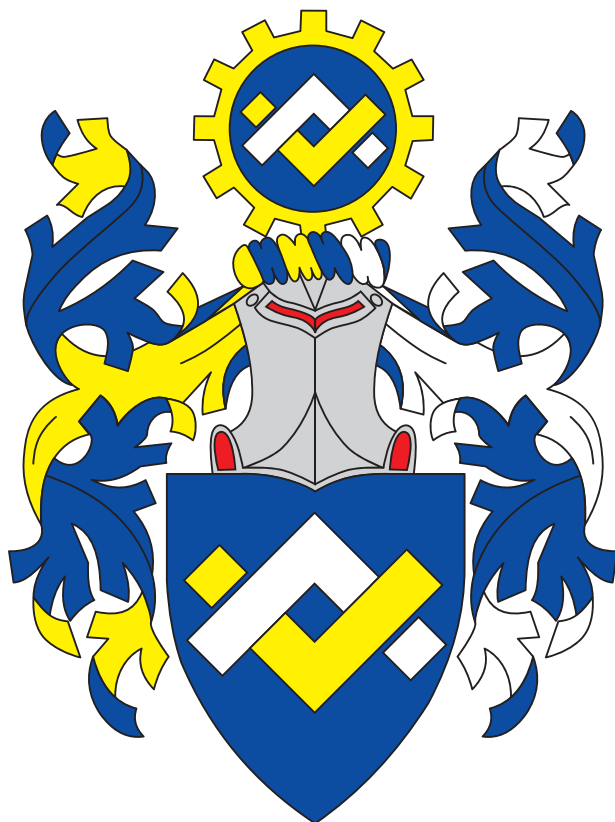
**45. MEĐUNARODNA
KONFERENCIJA**

ZBORNİK RADOVA

VODOVOD I KANALIZACIJA '24

Brzeće

08 - 11. oktobar 2024.



**ИНЖЕЊЕРСКА
КОМОРА
СРБИЈЕ**



SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE

45. Međunarodna konferencija
VODOVOD I KANALIZACIJA '24

Zbornik radova

Brzeće, Hotel „Junior“
08 – 11. oktobar 2024.

Izdavač:

Savez inženjera i tehničara Srbije, Beograd

Za izdavača:

mr Bogdan Vlahović, dipl. inž, generalni sekretar

Programski odbor:

V. prof. dr Aleksandar Đukić (predsednik), prof. dr Slaviša Trajković, prof. dr Srđan Kolaković, prof. dr Srđan Rončević, prof. dr Jovan Despotović, prof. dr Dragan Milićević, prof. dr Rada Petrović, Vladimir Milojević, Dušan Đurić, Miodrag Popović, dr Zorica Lopičić, dr Dragana Randelović, prof. dr Goce Taseski, prof. dr Goran Orašanin, prof. dr Darko Vuksanović, prof. dr Goran Sekulić, prof. dr Vaso Novaković, prof. dr Dragica Čamovska, prof. dr Filip Kokalj i dr Olivera Doklestić

Organizacioni odbor:

Mr Bogdan Vlahović (predsednik), Dalibor Joknić, Nebojša Jakovljević, Nikica Ivić, Dalibor Savić, Vladimir Milosavljević, mr Zoran Pendić, dr Tatjana Šostarić, dr Dušan Milojkov, dr Jelena Petrović, dr Danijela Smiljanić, dr Aleksandar Jovanović, dr Mladen Bugarčić, Zoran Nikolić, Milan Đorđević, Olivera Čosović MSc, Marijana Mihajlović i Olja Jovičić

Recenzenti:

Prof. dr Jovan Despotović, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet
Prof. dr Dragan Milićević, Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet
Prof. dr Rada Petrović, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet
Prof. dr Srđan Rončević, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno matematički fakultet
V. prof. dr Aleksandar Đukić, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet

Glavni i odgovorni urednik:

V. prof. dr Aleksandar Đukić, dipl. inž.

Lektura i korektura:

Olivera Čosović, mast. filol.

Tehnički urednik:

Olja Jovičić, dipl. prav.

Štampa:

Akadska izdanja, Zemun

Naslovna strana:

Lago di Garda, Italija

Autor fotografije:

Olja Jovičić

ISBN: 978-86-82563-30-3

Godina izdavanja: 2024.

Tiraž: 200 primeraka

Stavovi izneti u ovoj publikaciji ne odražavaju nužno stavove izdavača i članova Programskog odbora

ORGANIZATOR:

Savez inženjera i tehničara Srbije

SUORGANIZATORI:

ITNMS - Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd

Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš

Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd

Prirodno-matematički fakultet – Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Novi Sad

Tehnološko-metalurški fakultet – Katedra za neogransku hemijsku tehnologiju, Beograd

Inženjerska akademija Srbije, Beograd

IPIN Institut za primjenjenu geologiju i vodoinženjering, Bijeljina

JKP „Vodovod“, Kruševac

UZ PODRŠKU:

Inženjerske komore Srbije, Beograd

POD POKROVITELJSTVOM:

Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije i

Opštine Brus

CIP - Каталогизacija у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

628.1/.3(082)

МЕЂУНАРОДНА КОНФЕРЕНЦИЈА ВОДОВОД И КАНАЛИЗАЦИЈА (45 ; 2024 ; БРЗЕЋЕ)

Zbornik radova / 45. Međunarodna konferencija Vodovod i kanalizacija '24, Brzeće, 08 – 11. oktobar 2024. ; [organizator] Savez inženjera i tehničara Srbije ... [et al.]]; [glavni i odgovorni urednik Aleksandar Đukić]. - Beograd : Savez inženjera i tehničara Srbije, 2024 (Zemun : Akademska izdanja). - 522 str. : ilustr. ; 25 cm

Teskt ćir. i lat. - Tiraž 200. - Napomene uz radove. - Str. 13-14: Predgovor / Aleksandar Đukić. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts.

ISBN 978-86-82563-30-3

а) Водовод -- Зборници б) Канализација -- Зборници в) Отпадне воде -- Зборници

COBISS.SR-ID 153088265



СИТС - САВЕЗ ИНЖЕЊЕРА И ТЕХНИЧАРА СРБИЈЕ ИСТОРИЈАТ И САДРЖАЈ РАДА

ИСТОРИЈАТ

Корени српске техничке цивилизације почињу још у доба Немањића. Зачеци инжењерства су у рударско-металуршким подухватима (Ново брдо) и грађењу величанствених сакралних објеката средњевековне српске државе.

Од Првог (1804), а посебно Другог српског устанка (1815), оживљава српско градитељство које је нарочито од тридесетих година било везано за изградњу саобраћајница, подизање јавних објеката, уређење вароши, и др.

У то време (1834/35. године) из аустријског царства долазе и први државни службеници – „правителствени инцинири“ (Франц Јанке и барон Франц Кордон), а у том веку Србијом је прошло око 600 инжењера.

Започињање наставе на Техничком факултету Велике школе 1863. године значило је прекретницу у школовању српских инжењера. Поред школовања у земљи један број инжењера се школовао и у иностранству.

Истовремено са школовањем првих техничких кадрова јавља се и иницијатива за оснивањем стручне, еснафске организације. Тако већ 3. фебруара 1868. године, само годину дана после предаје кључева града Београда од стране турског паше Кнезу Михајлу, долази до оснивања „Техничарске дружине“, чији је први председник био Емилијан Јосимовић и тај датум је усвојен као година настанка наше организације. Убрзо затим (1869) оснива се и Удружење за пољску привреду, односно Српско пољо-привредно друштво.

Године 1890. долази до оснивања Удружења српских инжењера, а од 1896. инжењера и архитеката.

Прво стручно гласило овог Удружења „Српски технички лист“, изашао је 1890. године.

Први почасни члан Удружења српских инжењера био је Никола Тесла, који је то признање добио за време свог кратког и јединог боравка у Београду 1892. године.

За време Првог светског рата у Солуну излазе два броја „Српског техничког листа“ где се иначе налазио велики број инжењера који су били и војници. Ту је 1918. године одржана Скупштина којој су присуствовала 463 инжењера.

Удружење је 1932/35. године сопственим средствима, кредитима и добровољним прилозима изградило свој Дом у улици Кнеза Милоша 7, а Дом инжењера „Никола Тесла“ ул. Кнеза Милоша 9-11, изграђен је у периоду од 1962. до 1969. године. У ова два Дома инжењера смештен је и ради Савез инжењера и техничара Србије са својих 26 републичких струковних и мултидисциплинарних друштава, који се самостално финансирају, од укупно 45 чланица савеза.

Поред **Емијилана Јосимовића**, првог председника, који је био и ректор Лицеја и Велике школе и почасни члан Српске краљевске академије у раду нашег Савеза учествовали су и дали свој допринос и: **Коста Алковић**, проф. Велике школе, министар грађевина, члан Српског ученог друштва и Српске краљевске академије, **Димитрије Стојановић**, професор Техничког факултета и први директор Српских државних железница, члан Српског ученог друштва и Српске краљевске академије, **Милош Савчић**, министар грађевине Србије, председник града Београда, и познати привредник, који је дао највише средстава 1932. године за подизање Дома инжењера и техничара Србије, председници САНУ **Јосиф Панчић** и **Јован Жујовић**, **Симо Лозанић**, **Кирило Савић**, **Александар Деспић**, **Никола Хајдин** и многи други познати стручњаци и научни радници.

САДРЖАЈ РАДА

Савез инжењера и техничара Србије је добровољна, невладина, непрофитна, стручно-научна, интересна, професионална и ванстраначка организација инжењера и техничара и њихових организација у Републици Србији, отворена за сарадњу са другим научно-стручним, привредним и осталим организацијама, на бази међусобног уважавања, узајамног поштовања и самосталности у раду.

Савез инжењера и техничара Србије и његове чланице се самостално финансирају и самостално финансирају своје стручне активности и издавање стручних публикација.

Циљеви и задаци СИТС-а су:

- окупљање и организовање инжењера и техничара Србије ради остваривања њихових интереса, увећања стручног знања, обезбеђења одговарајућег статуса у заједници, на бази њиховог стручног доприноса у привредном, економском, научно-технолошком и укупном развоју Републике Србије;

- обједињавање, јачање и омасовљавање инжењерско-техничарских организација Србије, развијање међусобне сарадње и сарадње са одговарајућим међународним организацијама инжењера и техничара;
- побољшавање статуса, интереса, угледа и заштите чланова инжењерскотехничарске организације Србије и пружање помоћи својим члановима и чланицама;
- развијање свих облика сарадње са другим домаћим и иностраним инжењерским организацијама и асоцијацијама
- пружање помоћи инжењерима и техничарима у научном и стручном усавршавању и организовању одговарајућих облика перманентног образовања;
- праћење савременог развоја технике и технологије и указивање на токове збивања и промене у овој области и давање мишљења о оптималности техничких и технолошких решења при привредним, инвестиционим и другим подухватима;
- неговање и развијање етике инжењерско-техничарског позива, људских права и слобода;
- подстицање, организовање научно-стручних скупова, објављивање научних и стручних радова, издавање часописа и других публикација од интереса за инжењерско-техничарску организацију и техничку интелигенцију;
- организовање конгреса од значаја за струку, који је скуп инжењера и техничара Србије, на коме се разматрају најзначајнија питања из делокруга рада инжењерско-техничарске организације Србије, развоја привреде, науке, технике и образовања. Конгрес се одржава у складу са могућностима и потребама, о чему одлуку доноси Скупштина СИТС;
- организовање скупова, семинара, курсева, стручних обилазака, изложби, округлих столова и јавних расправа од интереса за локалне самоуправе и за привредне, образовне и здравствене институције;
- организовање континуалне едукације за инжењерске, здравствене и образовне организације у сарадњи и у складу са критеријумима меродавних државних и других институција;
- рад на техничкој регулативи (законима, прописима и стандардима), обезбеђујући њену савременост, адекватност, актуелност и функционалност, а посебно на осавремењавању регулативе за локалне самоуправе;
- разматрање и давање стручних мишљења о програмима, плановима, пројектима, анализама и другим актима важним за развој технике, технологије и производње у Републици Србији, као и судско вештачење;
- организација и одржавање стручних испита у складу са Законом;
- подстицање и помагање оних активности и иницијатива усмерених ка очувању животне средине, водних ресурса и уређењу простора, уштеди и рационализацији потрошње свих врста енергије;
- сарадња са одговарајућим стручним, привредним и другим организацијама и органима на реализацији задатака од заједничког интереса;
- неговање сећања на значајне личности и догађаје из историје инжењерско-техничарских струка, науке и дисциплина;

- управљање Домовима и осталом имовином, извршавање општих, административних, стручних, рачуноводствено-финансијских, техничких и других послова преко Стручне службе Савеза инжењера и техничара Србије у свом интересу, интересу чланова, чланица, запослених и друго.

Савез и чланице Савеза имају развијену сарадњу са органима локалне самоуправе, одговарајућим градским и републичким министарствима и другим органима, Српском академијом наука и уметности, Инжењерском комором Србије, Инжењерском академијом Србије, Привредном комором Србије, са многим предузећима, привредним и стручним асоцијацијама, факултетима и универзитетима и многим другим институцијама. Имамо развијену и одговарајућу међународну сарадњу.

Савез већ дуго низ година на основу Закона и уговора са надлежним републичким министарствима организује и спроводи послове одржавања стручних испита из области инжењерских струка у Републици Србији.

Савез инжењера и техничара Србије – СИТС, данас има више хиљада својих чланова, 45 својих чланица у Србији, и то: 27 чланица на републичком нивоу, струковних савеза различитих инжењерских струка, (архитектура, урбанизам, грађевина, машинство, електротехника, рударство, геологија, геодезија, агрономија, шумарство, хемија и др.), 18 колективних чланице савеза на покрајинском, градском и регионалном нивоу.

Савез је оснивач ИАС – Инжењерске академије Србије. У оквиру Савеза формиран је у 2002. години Развојни центар СИТС-а који ангажује наше научнике и стручњаке на решавању многих текућих и развојних садржаја из области привреде Србије.

Поред бројних периодичних публикација, редовно излази више стручних часописа, међу којима: „Техника“, „КГХ“ (Климатизација, грејање, хлађење), „Изградња“, „Процесна техника“, „Пољопривреда“, „Шумарство“, „Текстилна индустрија“, „Форум“, „Ecologica“, „Заштита материјала“ и други.

Савез има своју покретну и непокретну имовину (Домове инжењера у Београду), самостално се финансира, редовно измирује своје обавезе према свим надлежним државним органима и својим добављачима и успешно послује.

Савез инжењера и техничара Србије, као национална инжењерска организација Србије, члан је међународних организација, и то ENGINEERS EUROPE – Европске инжењерске федерације која окупља националне инжењерске асоцијације из 33 земље Европског високообразовног подручја и COPISSE – Стална конференција инжењера Југоисточне Европе.

Корени су давно постављени и евидентни су резултати пређашњег рада. Налазећи инспирацију у прошлим временима сагласно многим и великим променама у свету, а посебно у техници и технологији, Савеза инжењера и техничара Србије и његове чланице у континуитету иновирају свој рад, од интереса за своје чланове, своје чланице, грађане и државу Србију.

SADRŽAJ

Predgovor	17
Tema 1. Organizacioni i ekonomski aspekti javnih komunalnih preduzeća vodovoda i kanalizacije	
<i>Dejan Dimkić, Nikica Ivić</i>	
Unapređenje rada nekih VIK sistema i cena vode	19
<i>Milan Đorđević</i>	
Analiza mogućnosti za povećavanje efikasnosti naplate računa za vodu bez povećavanja troškova	39
<i>Ivan Stupić</i>	
Problematika naknade štete kao posledica havarija i raskopavanja na vodovodnoj i kanalizacionoj mreži u gradu Kragujevcu	49
<i>Zoran Pendić, Lara Polak, Bojana Jakovljević, Ana Milijić, Rajko Pendić, Zoran Dimitrijević, Željko Marković, Dragana Jovanović, Marina Strižak</i>	
O posebnostima i kvalitetu vodovodnih instalacija u stambenim i komercijalnim zgradama	55
<i>Goran Orašanić, Budimirka Marinović</i>	
Vodovodni sistemi i cirkularna ekonomija	71
<i>Tijana Petrović, Aleksandar Đukić</i>	
Moguće posledice primene nove Direktive o gradskim otpadnim vodama EU u Srbiji	79
<i>Siniša Gajin</i>	
Uticaj interne komunikacije na zadovoljstvo zaposlenih, imidž i poslovanje JKP „ViK“	89
<i>Siniša Gajin</i>	
Uticaj eksterne komunikacije na zadovoljstvo korisnika, imidž i poslovanje JKP „ViK“	97

Tema 2. Izvorišta i priprema vode za piće

*Jovana Jokić Govedarica, Jovana Pešić, Tajana Simetić,
Malkolm Votson, Jelena Molnar Jazić, Jasmina Agbaba,
Jasmina Nikić*

Primena magnetnog ugljeničnog nanokompozita za uklanjanje arsena i odabranih teških metala u tretmanu voda107

*Tajana Simetić, Jasmina Nikić, Jelena Molnar Jazić,
Slaven Tenodi, Marijana Kragulj Isakovski, Srđan Rončević,
Jasmina Agbaba*

Uklanjanje vinil hlorida iz vode primenom ozonizacije i sorpcije na granulovanom aktivnom uglju115

Goran Gavrilović

Monitoring površinske vode Akumulacije „Gruža“ za period 2014-2024. godina125

Tomislav Petrović, Jovan Kovačević

Zasipanje Akumulacije „Ćelije“ (1979 – 2017)131

Olivera Doklešić

Iscrpljivanje lokalnog izvorišta „Opačica“137

Nebojša Pantelić

Procena kvaliteta prirodnih mineralnih voda sa teritorije Lukovske Banje sa aspekta osnovnih fizičko-hemijskih parametara i multi-elementalne analize.....145

Bojan Ećim

Termalne, mineralne i termomineralne vode Prijedorke regije.....155

Nikola Nikolić, Vaso Novaković

Fizičko-hemijske karakteristike podzemnih voda na prostoru Kozluka kod Zvornika165

Rada Petrović, Slavica Lazarević

Uporedna analiza postupaka uklanjanja cijanotoksina iz površinskih voda.....173

*Željka Milovanović, Slavica Lazarević, Ivona Janković-Častvan,
Slobodan Cvetković, Rada Petrović*

**Uklanjanje fosfata iz vode primenom adsorbenata na bazi
sepiolita i oksid-hidroksida lantana181**

*Mladen Popov, Dragana Tamindžija, Ana Kuzmanović,
Marijana Kragulj Isakovski, Jelena Molnar Jazić, Tajana Simetić,
Aleksandra Tubić, Dragan Radnović, Jasmina Agbaba*

**Uklanjanje odabranih bakterijskih sojeva iz sirove vode
dezinfekcijom sa natrijum hipohloritom.....189**

Tatjana Simčini, Milica Kolarski

**Sanacija filterskih polja – metodologija i problematika zamene
filterske ispune197**

Tema 3. Upravljanje sistemima vodovoda

Stanko Stankov

**Uloga savremenih upravljačkih sistema i senzora u
upravljanju gubicima vode.....205**

Milijanko Radojević, Dejan Dimkić

**Vanredni događaji (poplave i havarije) u dosadašnjem radu
RVS „Rzav“217**

Goce Taseski, Nikola Krstovski

**Matematički model za tehničko ekonomsku analizu za
optimizaciju pumpnog gravitacionog sistema vodosnabdevanja.....235**

Željko Raljić, Dejan Račić

**Ugradnja pumpe pitke vode na vodozahvatu i dobijena
energetska efikasnost243**

Aleksandar Stojanović, Slobodan Stojanović

Neinvazivna sanacija oštećenih cevovoda253

Goran Sekulić, Milena Ostojić

Proces rehabilitacije cijevi u vodovodnim sistemima263

Olivera Doklešćić

Upravljanje vodovodnim sistemom u restriktivnom režimu snabdijevanja	271
---	-----

Dejan Kubatov

Pozitivna iskustva JKP „Vodovod“ Bezdan	279
--	-----

Mirjana Ninković-Nikolić, Biljana Tomić Tucaković

Sadržaj tragova metala u flaširanim prirodnim mineralnim vodama i vodi za piće sa česme	289
--	-----

*Dragan Marinović, Zoran Milićević, Svetlana Belošević, Dušanka
Marinović, Jovana Belošević*

Javne česme grada Kraljeva	299
---	-----

Zoran Dimitrijević

Značaj seoskih vodovoda za unapređenje bezbednosti vodosnabdjevanja	307
--	-----

Aleksandra Porjazoska-Kujundžiski, Dragica Čamovska

Qualitative Determination of the Solid Calcium Carbonate Deposition Tendency from Natural Waters	321
---	-----

Tema 4. Upravljanje sistemima kanalizacije

*Aleksandar Đukić, Branislava Lekić, Branislav Babić,
Ognjen Govedarica, Vladana Rajaković Ognjanović*

Mogućnosti primene prirodom inspirisanih rešenja za urbano odvodnjavanje u Srbiji	329
--	-----

*Željka Ostojić, Miloš Stanić, Strahinja Nikolić, Sanja Marčeta,
Nemanja Rak*

Primena infiltracije i eksfiltracije u sistemima kišne kanalizacije	339
--	-----

Ivan Milojković, Nataša Prašćević

Primena metode AHP-VIKOR sa fazi pristupom u projektovanju objekata atmosfere kanalizacije	353
---	-----

Isidora Pančić

Uticaj poroznih asfalta na prečišćavanje vode sa asfaltnih površina361

Boris Džodanović

Prečišćavanje kišne vode sa magistralnih saobraćajnica369

Jelena Dimitrijević, Zoran Bonić, Dragan Milićević

Održive tehnike upravljanja atmosferskim vodama u službi odvodnjavanja železničkog koloseka375

Darko Vuksanović, Dragan Radonjić, Jelena Šćepanović

Uticaj oborinskih voda sa kamenoloma na kvalitet životne sredine385

Goce Taseski, Nikola Krstovski

Primena retencionih bazena za smanjenje uticaja klimatskih promena na postojeće sisteme atmosferske kanalizacije397

Tina Savić Tomić, Sreten Đurić, Željko Trajilović, Milan Pešić, Žarko Nestorović

Značaj usklađenosti visinskih sistema pri realizaciji kanalizacionih mreža405

Tema 5. Prečišćavanje otpadnih voda

Rad po pozivu

Aleksandar Jovanović, Mladen Bugarčić, Milica Mišić, Dimitrije Anđić, Miroslav Sokić, Vladimir Pavićević

Potencijal primene procesa fotokatalize u tretmanu industrijskih otpadnih voda411

Rad po pozivu

Dušan Milojkov, Vukosava Živković-Radovanović, Miroslav Sokić, Biljana Dojčinović, Ana Mraković, Marija Koprivica, Marija Simić

Ispitivanje biosorpcionog kapaciteta različitih bioloških materijala uzorkovanih na teritoriji Srbije za uklanjanje jona Cu^{2+} i Co^{2+} iz vodenih rastvora421

Dragana Grandić-Aleksić

**Incidentne situacije i efikasnost prečišćavanja otpadnih voda
na PPOV Kruševac433**

Ivan Bogdanović, Nikola Rakić

**Karakterizacija biohemijskih parametara i sinergijskih efekata
primarnog mulja i kodigestija ostataka od hrane443**

*Marija Simić, Jelena Petrović, Zoran Maksimović, Marija Ercegović,
Marija Koprivica, Jelena Dimitrijević, Dušan Milojkov*

**Poboljšanje adsorpcionih karakteristika divljeg sirka
hidrotermalnom karbonizacijom u materijal visokog afiniteta
za uklanjanje olova449**

*Tatjana Šoštarić, Jelena Milojković, Vladimir Adamović,
Anja Antansković, Zorica Lopičić*

**Biočad dobijena od otpadne lignocelulozne biomase kao
adsorbent fosfata iz vodenog rastvora.....457**

Ivan Krstić

**Mogućnosti modela aktivnog mulja (ASM 1) i značaj uvođenja
modeliranja u upravljanje postrojenjima za prečišćavanje
otpadnih voda467**

Ivana Mitrović, Svetlana Nikolić

**Moguća rešenja tretmana sanitarnih otpadnih voda manjih
naselja i individualnih domaćinstava475**

Tema 6. Digitalizacija

*Damjan Ivetić, Dušan Prodanović, Miloš Stanić, Branislav Babić,
Robert Ljubičić*

**Merenje protoka u kanalizacionim sistemima Beograda:
hidrotehnička forenzika.....481**

Stanko Stankov

Upravljanje inteligentnim sistemima vodovoda i kanalizacije.....491

Ognjen Ivić

**Komparativna analiza algoritama mašinskog učenja za
predviđanje broja aktivnih bunara u sistemima
vodosnabdevanja503**

Bojan Ećim

**Upravljanje vodovodnim sistemom grada Prijedora (proširenje
sistema i iskustva).....515**

PREDGOVOR

Nastavljajući dugogodišnju tradiciju, Savez inženjera i tehničara Srbije (SITS) organizuje četrdeset i petu po redu, godišnju konferenciju o aktuelnim temama iz oblasti snabdevanja vodom za piće i kanalisanja i prečišćavanja otpadnih voda, pod nazivom „Vodovod i kanalizacija '24“.

Suorganizatori Konferencije ove godine su ITNMS - Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina (Beograd), Građevinsko-arhitektonski fakultet (Niš), Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ (Beograd), Prirodno-matematički fakultet – Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine (Novi Sad), Tehnološko-metalurški fakultet – Katedra za neorgansku hemijsku tehnologiju (Beograd), Inženjerska akademija Srbije (Beograd), IPIN - Institut za primjenjenu geologiju i vodoinženjering (Bijeljina) i JKP „Vodovod“ Kruševac.

Konferencija se održava pod pokroviteljstvom Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, uz podršku Inženjerske komore Srbije.

Cilj Konferencije je razmatranje aktuelnih istraživačkih, razvojnih, tehničko - tehnoloških, ekonomskih, zakonskih i drugih pitanja iz oblasti snabdevanja vodom i kanalizacije, a sve to sa ciljem boljeg informisanja i ubrzanijeg transfera znanja i iskustava u primeni savremenih dostignuća i rešenja, a sve u cilju poboljšanja u sferi usluga vodosnabdevanja i kanalisanja i unapređenja poslovanja komunalnih preduzeća vodovoda i kanalizacije. Pored stručnih i praktičnih aspekata navedene problematike, važnu komponentu ove konferencije čini i prezentacija rezultata naučno-istraživačkog rada u oblasti novih tehnologija i primene novih rešenja u snabdevanju vodom za piće, kanalisanju i prečišćavanju otpadnih voda, kao preduslova za kontinuirani i održivi razvoj ovih delatnosti.

Zbornik radova konferencije „Vodovod i kanalizacija `24“ sadrži ukupno 53 rada, koje je nakon recenzije, Programski odbor prihvatio za izlaganje na Konferenciji i štampanje u Zborniku radova. Najveći broj autora radova je iz Srbije a zastupljeni su i radovi autora iz regiona. Radovi su grupisani po sledećim tematskim grupama:

1. ORGANIZACIONI I EKONOMSKI ASPEKTI JAVNIH KOMUNALNIH PREDUZEĆA VODOVODA I KANALIZACIJE
2. IZVORIŠTA I PRIPREMA VODE ZA PIĆE
3. UPRAVLJANJE SISTEMIMA VODOVODA
4. UPRAVLJANJE SISTEMIMA KANALIZACIJE
5. PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA
6. DIGITALIZACIJA

U temi 5 postoje uvodni radovi po pozivu, kako je naznačeno u ovom Zborniku. Kod preostalih radova, po ustaljenom običaju, autori su se sami opredeljivali za teme o kojima će pisati, tako da radovi u ovom Zborniku na neki način odlikavaju trenutno stanje i fokus rada i istraživanja u oblastima snabdevanja vodom za piće, kanalisanja i prečišćavanja otpadnih voda u Srbiji i regionu. Od aktuelnih tema koje su našle svoje mesto u radovima ovog Zbornika posebno ističemo problematiku ekonomske cene vode, nova rešenja iz regulative EU u domenu vode za piće i cirkularne ekonomije, ekonomske i tehničke aspekte planiranja i eksploatacije vodovoda i kanalizacije, odvođenje kišnih voda sa saobraćajnica i naselja, nove tehnologije u pripremi vode za piće i prečišćavanju otpadnih voda, merenja u vodovodnim i kanalizacionim sistemima i primena metoda mašinskog učenja u upravljanju sistemima. Struktura stručnih profila autora je, kao i uvek, raznolika, što odgovara posebnoj težnji SITS da se problemi snabdevanja naselja vodom i kanalisanja i prečišćavanja otpadnih voda posmatraju multidisciplinarno, čime se doprinosi poboljšanju sagledavanja i rešavanja problema.

SITS zahvaljuje ovim putem preduzećima i institucijama koje su pomogle održavanje ove Konferencije, recenzentima, članovima Programskog i Organizacionog odbora, kao i autorima radova na uloženom trudu i njihovom stvaralačkom radu u pripremi radova.

Nadamo se i želimo da ovogodišnja konferencija bude plodonosna i da se svi učesnici vrate u svoju sredinu obogaćeni novim saznanjima i kolegijalnim poznanstvima.

UREDNIK

Beograd, septembar 2024.

Dr Aleksandar Đukić

УНАПРЕЂЕЊЕ РАДА НЕКИХ ВИК СИСТЕМА И ЦЕНА ВОДЕ

IMPROVING THE OPERATION OF SOME W&S SYSTEMS AND THE PRICE OF WATER

ДЕЈАН ДИМКИЋ¹
НИКИЦА ИВИЋ²

Прегледни стручни рад
DOI: 10.5937/VIK24019D

Резиме: Унапређење рада комуналних (водоводних и канализационих) система подразумева рационалније пословање, повећана брига о овим системима, и њихов потребни развој. Остварење ових циљева захтева адекватну финансијску подршку и често бољу (ефикаснију) организацију комуналних фирми. У раду се покушава дати, кроз примере различитих система, какви све проблеми постоје, колико поједина унапређења/инвестиције утичу на формирање (економске) цене воде, и које су специфичности појединих региона Србије. У мањој мери се разматра и шта се може очекивати у ближој будућности у светлу свих промена које се дешавају, и у случају непредузимања (слабог предузимања) потребних активности.

Кључне речи: водоводни систем, канализациони систем, губици, загађење, притисак, цена воде

Abstract: Improving the operation of communal (water supply and sewage) systems implies more rational operations, increased care for these systems, and their necessary development. Achieving these goals requires adequate financial support and often a better (more efficient) organization of utility companies.

The paper tries to give, through examples of different systems, what problems exist, how much certain improvements/investments affect the formation of the (economic) price of water, and what are the specificities of certain regions of Serbia. To a lesser extent, what can be expected in the near future is considered in light of all the changes that are happening, and in the case of not undertaking (weakly undertaking) the necessary activities.

Key Words: water supply system, sewage system, losses, pollution, pressure, water price

¹ Дејан Димкић, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Јарослава Черног 80, Београд, dejan.dimkic@jcerni.rs, ORCID: 0000-0003-4994-2683

² Никица Ивић, ЈКП „Водовод и канализација“, Масарикова 17, Нови Сад, nika.ivic@vikns.rs, ORCID: 0009-0000-5334-0533

1. Увод

Комунални системи - водоводни (WSS) и канализациони (SS) се сусрећу са различитим проблемима у свом раду: техничким, организационим, планским и финансијским. Често су ови аспекти и међусобно повезани.

У раду су прво разматрани главни аспекти ових проблема (генерално), а затим, уз основне техничке податке појединих развојних решења, и потребне инвестиционе и/или економске цене (ЕЦ) за њихово решавање. У том циљу је наведено пар примера из новосадских ВиК система, као и неколико примера везаних за регионални развој широм Србије. Покушала се сагледати и регионална заступљеност неких, пре свега техничких, проблема у земљи.

Приказана је ЕЦ за одређени број комуналних система широм Србије, добијена током неких ранијих студија и пројеката, без претензија да су оне 100% тачне, али уз тврдњу да не одступају пуно од стварних вредности.

Један од циљева овог рада је да покаже да добијене инвестиције за поједина решења развоја WSS и SS нису превисоке, и да је свака од њих више него доступна за садашње економско стање у држави, уз један битан и доста тежак услов: прелазак цене воде са социјалне на економску, коју би пратила 1. реорганизација комуналних фирми (пре свега у домену осавремењавања и рационализације пословања), и 2. реорганизација сектора вода у држави. Ове две реорганизације, као и изазови у формирању ЕЦ, се не разматрају детаљније у овом раду. На крају, у најгрубљим цртама се наговештава какав се развој ВиК система може очекивати са и без успостављања ЕЦ у земљи.

2. Најчешћи проблеми ВиК система данас и разлике међу регионима

Проблеми који постоје у функционисању комуналних фирми су, условно, подељени на техничке, организационе, проблеме у припреми планске документације, и оне финансијске природе.

2.1. Технички проблеми

2.1.1. Одржавање техничких система

У WSS и SS системе се недовољно улаже у њихово одржавање, које подразумева системско праћење параметара и рада свих елемената система (изворишта, пумпне станице, постројења за прераду воде за пиће, постројења за пречишћавање отпадних вода, цевоводи, колектори....) на основу којих се доносе одлуке када и колико треба уложити средстава како би систем (или део система) поуздано радио. Искусствено је доказано да је превентивно одржавање, најбољи начин очувања техничког система. Благовремено

констатовање (дијагностицирање) проблема у раду дела система, вишеструко смањује трошкове санације.

Добар пример: пумпна станица – иницијална оштећења лежаја пумпног агрегата (констатовано вибротијагностиком). Следи хитна замена оштећеног лежаја и потврда вибротијагностичком анализом исправног стања и наставак рада исправног пумпног агрегата.

Лош пример: иста пумпна станица – занемаривањем проблема следи: оштећења лежаја – оштећење кућишта лежаја – деформација вратила – оштећење спојнице – огромне вибрације – оштећење електромотора и прекид рада пумпног агрегата. Велики трошкови санације у поређењу са трошком замене лежаја.

Исто се односи и на дотрајале водоводне и канализационе мреже. Ефикасније је урадити пројектно техничку документацију и извршити реконструкцију појединих цевовода, него на сваких десетак метара поправљати хаварије.... Може се рећи да је примена ране дијагностике највише ствар мењања нашег става о значају опхођења према питању одржавања система, тј. то је комбинација организационог, техничког, а у мањој мери финансијског проблема.

2.1.2. Техничка опремљеност система

Техничка опремљеност система мора да прати потребе које WSS или SS треба да испуни. Потребе се огледају у услузи испоруке довољне количине квалитетне воде, као и одвођењу (пречишћавању) отпадне воде. Да би се ова услуга остварила, техничка опремљеност система у ланцу водозахват – прерада – дистрибуција мора имати све елементе што технички нормативи налажу. Најчешћи проблеми су дотрајалост цевовода и њихова замена (реконструкција), пумпне станице (недовољни капацитети и дотрајалост опреме), недостатак резервних делова и материјала. Извесно је највећа препрека за уклањање оваквих проблема цена воде која данас покрива оперативне (погонске) трошкове и делом инвестиционо одржавање (замена дела система тек када се на њему деси хаварија/квар), тј. ово је доминантно проблем финансијске природе.

2.2. Организациони проблеми

Да би један технички систем исправно и поуздано функционисао, потребно је (поред техничке опремљености) имати одговорне квалификоване људе који ће системом управљати. Организациони проблеми су најчешће везани са недовољним бројем и квалитетом стручног кадра. Организационом шемом и систематизациојм радних места предузећа тачно се дефинише струковни профил радног места и број извршилаца. Често се дешава да и поред

добре организације посла и доброг управљања системом, квалитетан кадар буде премештен на друге послове или одлази из предузећа - најчешће из финансијских разлога (из новосадског ВиК у последњих 8 година је отишло 19 лиценцираних (хидро, машински и електро) инжењера, а нико није дошао).

Потребно је у „генерацијским таласима“ сваких 5 (у мањим комуналним фирмама на 10) година запошљавати инжењере потребних струка, како би упознавали систем, радили на њему и полако преузимали „кормило“ руковођења и управљања истим. Треба предвидети и повећање примања за најстручнија и најодговорнија радна места (руководиоци/контролори рада целог система, руководиоци ППВ и ППОВ, Одговорни инжењер(и) у најосетљивијим деловима вођења и управљања системима).

2.3. Плански проблеми

Планском документацијом оба система дефинишу се смернице даљег развоја сваког система. То подразумева израду Ревизије развоја система. Ревизија развојног система најчешће се ради сваких 10 година и подразумева следеће:

А. Анализу рада целокупног система у претходних 10 година и да ли су остварени циљеви који су претходном ревизијом дефинисани.

Б. Сагледавање и анализу постојећег стања.

Ц. Пројекцију будућег развоја система на плански период од 10 и 20 година.

На основу демографског, привредног и просторног развоја града или општине, добијају се смернице даљег развоја система. На основу ревизије (као основног темељног документа) израђује се пројектно-техничка документација делова система које треба изградити.

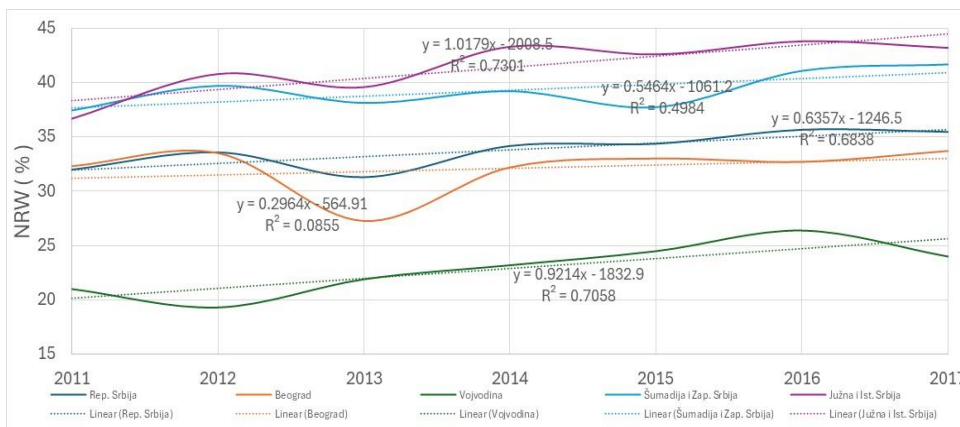
2.4. Финансијски проблеми

Сви претходно изнети проблеми повезани су са финансијским проблемима. Финансијска стабилност предузећа омогућава улагање средстава у стални развој система, његово одржавање и стабилност. Финансирање изградње и реконструкције система може бити из средстава локалне власти и сопствених средстава предузећа.

Израда финансијског плана за сваку годину највише зависи од цене услуге довођења воде и одвођења (пречишћавања) отпадне воде. Уколико је прилив средстава мали, то се ланчано преноси на све остале активности. Немогуће је у тим околностима планирати реконструкције и изградње водоводних и канализационих мрежа, изградњу неопходних објеката за нормално функционисање тих система као и њихово одржавање.

2.5. Неке разлике међу регионима у Србији

Разлике по регионима (Београдски, Војводина, Шумадија и Западна Србија, и Јужна и Источна Србија) су разматране за период 2011-2017. (доступни подаци из РЗС) за нефактурисане воде, за % прикључености на ППОВ (три типа третмана збирно према количини захваћене воде за водоснабдевање) и водоводну и канализациону мрежу, као и њихове дужине по становнику.



Слика 1. Нефактурисане воде (%) по подацима РЗС, по регионима Србије, 2011-2017.

Figure 1. Uninvoiced water (%) according to data of Republic Statistics bureau, by regions of Serbia, 2011-2017

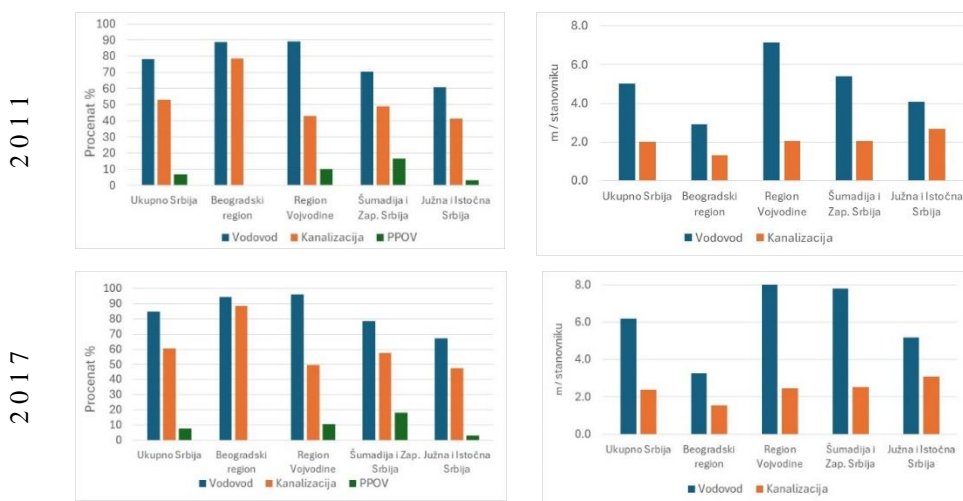
На слици 1 приказани су проценти нефактурисаних вода по регионима Србије. Са изузетком Београда, сви остали региони имају за 6-8% веће губитке због начина како општине достављају податке Републичком заводу за статистику (РЗС) о Укупно захватаним и Испорученим водама. Док код првог појма нема разлике у његовом схватању, појам „Испоручене воде“ већина општина (70-80%) схвата као „Фактурисане воде“, док један број општина (15-20%) овај појам схвата као „Произведене воде“ (тј. улаз у дистрибутивни систем). За мањи број општина се не може без детаљније анализе констатовати на који од два појма се односи достављени податак. Приметимо да су радови на смањењу губитака у новосадском систему 2011-2012. [1] имали утицај на смањење губитака за целу Војводину, а иста појава је још уочљивија код смањења губитака у БВК пар година касније. Недостатак системског приступа је утицао да ови добри примери буду „кратког даха“.

Иако је начин достављања података РЗС-у делимично мањкав, он је конзистентан у свим годинама, па је уочљив тренд повећања нефактурисаних вода у свим регионима у овом периоду индикативан за даље анализе.

Табела 1. Просечна прикљученост и дужине обе мреже за целу Србију (P3C)
 Table 1. Average connection and lengths of both networks for the whole of Serbia

	Прикључен.на вод. мрежу (%)	Прикључен. на кан. мрежу (%)	Прикључен. на ППОВ (%)	Дужина вод. мреже (km)	Дужина канал. мреже (km)	Број становника
2011	78.1	52.9	7.0	36216	14649	7236519
2017	84.8	60.6	7.5	43497	16746	7020858

Табела 1 приказује повећање процента прикључености за два система и на ППОВ, као и укупне дужине обе мреже за целу Србију (без КиМ), док слике 2а и 2б дају исти приказ (с тим да су дужине мрежа у m/stan.), али по регионима Србије за два временска пресека (2011. и 2017.).



Слика 2 а) Прикљученост (%) на вод. и кан. мрежу, и ППОВ по регионима Србије

Figure 2 a) Connection (%) to the WSS and SS network, and WWTP by regions of Serbia

Слика 2 б) Дужина водовод. и канал. мреже по становнику (m/stan.) по регионима Србије
 Figure 2 b) The length of the water supply and sewerage networks per inhabitant (m/inhabitant) by regions of Serbia

Треба запазити да, поред повећања изграђености два комунална система, један значајан део повећања у 2017. у односу на 2011. у табели 1 и на слици 2 је последица смањења броја становника за ова два временска пресека - преко 210 хиљада за 6 година, а извесно има и утицаја наставак миграција из малих у већа места (на слици 2а).

3. Примери неких инвестиција/решавања проблема и економска цена

3.1. Усвојен начин рачунања економске цене у поглављу 3

Појам економске цене воде једне инвестиције подразумева њено покривање кроз ЕЦ за неки број година, усвајајући одређену (што је могуће реалнију) дисконтну стопу, и све трошкове на одржавању и амортизацији исте.

Инвестиција је за сваки од примера у поглављу 3 рачуната посебно (комплетна у 1 години), према процењеним стварним вредностима. За пројекте који су рађени раније (пре 10 и више година), све цене су прерачунате на данашњи ниво. Код њих су инвестиције рачунате према формулама формираним пре 15-ак година [2], и множене са фактором 1.3-1.5, колико се процењује да су просечно порасле у еврима за то време.

Количине вода меродавне за прорачун ЕЦ су у складу са стварним или процењеним фактурисаним водама.

Табела 2. Расподела инвестиције на ХМ опрему, грађевинске и електро радове
Table 2. Distribution of Investments on equipment, construction and electrical works

%	грађевински радови	хидромашинска опрема	електро радови
Водозахвати, каптаже	95	5	0
Цевоводи	50	50	0
Резервоари и бране	80	15	5
Црпне станице	40	40	20
ППВ и ППОВ	50	40	10

Табела 3. Усвојене вредности за фиксне оперативне трошкове
Table 3. Adopted values for fixed operating costs

%		Инвестиционо одржавање	Осигурање	Остало
Грађевински радови		1.0	0.1	0.1
Опрема	Цевоводи	1.0	0.7	0.1
	Хидромашинска	2.0	0.7	0.1
	Електро	3.0	0.7	0.1

Расподела инвестиција по врстама радова је дата у табели 2, а обрачун фиксних оперативних трошкова у табели 3. У свим примерима претпостављен је, што је могуће реалнији, развој потреба у води, тиме и потрошња електричне енергије (усвојено 0.10 €/kWh) и хемикалија (варијабилни год. трошкови).

Оснивачка улагања су усвојена у износу од 10%, а замена ХМ и електро опреме на 12 година. У свим примерима ЕЦ воде је одређивана за дисконтне стопе од 3 и 5%, а за периоде од 10 и/или 30 и/или 50 година.

3.2. Пример 1: Доградња линије прераде воде на ППДВ Шtrand изградњом новог резервоара, технолошке ПС, озонског блока и ГАУ филтера у водоводном систему Нови Сад (финансирање из сопствених средстава предузећа путем узимања кредита) [3]

Почетком деведесетих година почела је изградња новог изворишта воде Ратно острво системом БХД (бунари са хоризонталним дренажима). Један од услова експлоатације изворишта била је изградња (доградња) линије прераде воде (технолошка пумпна станица, озонски блок и ГАУ филтери и нови резервоар 10.000 m^3) на постројењу Шtrand (прерадни капацитет је остао исти са $Q_{\max} = 1500 \text{ L/s}$, али је линија прераде воде побољшана изградњом ових објеката. У технолошкој пумпној станици инсталисана снага пумпних агрегата износи $6 \times 45 \text{ kW}$). Разлог је био непосредна могућност загађења изворишта угљоводонцима и осталим хемијским материјама због близине Рафинерије нафте Нови Сад као и термо топлане у залеђу изворишта. Деведесетих и почетком двехиљадитих година, лоше финансијске могућности предузећа нису омогућавале остварење ове инвестиције. Током 2005. урађена је пројектно техничка документација (Идејни пројекат) која је оквирно дала вредност инвестиције. До повољних финансијских услова чекало се до 2011. године (када смо имали „економску“ цену воде) и тада је урађен Главни пројекат и уговорени радови (септембар 2012) за изградњу поменутих објеката. Укупна вредност радова износила је тада 10.5 милиона евра. Фактурисало се, слично као и данас, око 800 L/s на нивоу целог конзума. Удео у укупној инвестицији по објектима: цевоводи и фазонерија 3%, резервоар 24%, пумпне станице 6%, ППВ 67%. ЕЦ су дате у табели 4. Предузеће је узело кредит од европске инвестиционе банке, јер је било у могућности враћања годишњих рата (трајање кредита 20 година). Радови су трајали од 2013. до 2015. године. У уговору између ЕИБ-а и Града Новог Сада постоји члан који говори о дизању цене воде сваке године спрам инфлације, како би се кредит могао без проблема враћати.

3.3. Пример 2: Нова главна црпна станица канализационог система Новог Сада (цена воде није подизана 7 година - финансирање из средстава буџета града) [3]

Једна од капиталних инвестиција канализационог система била је пројектовање и изградња Нове главне црпне станице (НГЦ1) канализације отпадних вода. НГЦ1 има функцију сакупљања свих отпадних вода бачког дела Новог Сада и пребацивање преко Дунава на сремски део, где ће бити централно постројење пречишћавања отпадних вода (ЦППОВ) града Новог Сада. Пројектном документацијом дефинисана је вредност радова. Радови су планирани да се изводе у 2018. години. Како од 2011. до 2018. године цена воде није подизана (а трошкови су вишеструко порасли (не улазећи у дубљу анализу

трошкова) финансирање инвестиције, предузеће сопственим средствима није могло да реши. Средства су добијена из буџета града Новог Сада. Радови су трајали од 2019. до 2021. године и коначна вредност износила је 963 милиона динара (око 9.0 милиона евра). ЕЦ су дате у табели 4.

3.4. Пример 3: Подсистем Поповица града Новог Сада [3]

Подсистем Поповица припада сремском делу система водоснабдевања града. Брдовити је предео и састоји се од 3 резервоара ($3 \times 150 \text{ m}^3$), 3 пумпне станице укупне инсталисане снаге пумпних агрегата 50 kW, 3 хидрофорска постројења укупне инсталисане снаге 15 kW и око 35 km водоводне мреже пречника DN 150. Цео подсистем има висинску разлику 240 m (полазна кота 105 m.n.m, највиша кота 350 m.n.m.). Изградња овог система интензивно је почела 2011. године, све до њеног завршетка 2017. године. Комплетно улагање у изградњу система износило је око 150 милиона динара (око 1.3 милиона евра тада). Битна је година почетка (2011) улагања из разлога тадашње цене воде, прилива средстава и систематског улагања средстава по годинама. Располагање сопственим средствима предузећа (која су била задовољавајућа за потребе развоја система) омогућило је континуирану изградњу система. Подсистем Поповица је пример како један захтеван систем може да се изгради сопственим средствима и да беспрекорно функционише. Просечна потрошња овог дела система износи 20 l/s, док је просечна потрошња новосадског система 1200 l/s. Удео у укупној Инвестицији по објектима: цевоводи 69%, резервоар 8%, пумпне станице 23%. У табели 4 се види (преко ЕЦ) лака доступност овакве инвестиције када је покрива цео конзум, а такође и колика би била ЕЦ ако би је покривали само потрошачи из подсистема Поповица.

3.5. Пример 4: Размотримо и један фиктиван пример

За насеље од оријентационо 10 хиљада становника, које фактурише просечно 25 L/s (790 хиљада $\text{m}^3/\text{год.}$) треба урадити инвестицију која подразумева један резервоар од 500 m^3 , цевовод дужине 2 km и пречника 250 mm, и ПС снаге 45 kW. Количине вода се не мењају кроз време. Развојни пројекат обухвата следеће инвестиције/целине:

1 Резервоар:	0.20 mil. €
2 Цевовод:	0.35 mil. €
3 Пумпна станица:	0.15 mil. €
Укупна инвестиција	0.70 mil. €

Удео у укупној инвестицији: цевовод 50%, резервоар 29%, пумпна станица 21%. ЕЦ су дате у табели 4.

3.6. Пример 5: Замена доводног АБ цевовода за Алексинац [4]

Инвестиција од 4.4 mil. € подразумева замену АБ цевовода 800 mm са ID 600 mm од Бованског језера до ППВ Бресје ($L= 8.0$ km). Садашњи губици од око 20% на овом цевоводу се очекује да буду смањени на 3%. Потрошња електричне енергије при пумпању на ПС Бован је слична садашњем стању, а количине вода које се транспортују су исте – око 90 L/s. Цела инвестиција се односи на цевовод са пратећом фазонеријом. ЕЦ су дате у табели 4.

3.7. Пример 6: Снабдевање Лапова и Раче са изворишта Брзан, преко Баточине [5]

Прорачун према Студији из 2005. године уз полазне податке:

Предвиђа обезбеђење $Q_{\text{sred.}^{\text{god.}}} = 89$ L/s и $Q_{\text{max.}^{\text{dn.}}} = 135$ L/s, (достичу се у 26-ој години од изградње). Развојни пројекат обухвата следеће инвестиције/целине:

1 Проширење изворишта Брзан:	1.9 mil. €
2 Изградња ППВ Баточина:	2.6 mil. €
3 ПС Баточина:	0.2 mil. €
<u>4 Цевоводи и резервоари Баточина-Лапово и Баточина-Рача:</u>	<u>3.2 mil. €</u>
Укупна инвестиција	7.9 mil. €

Удео у укупној инвестицији: бунари 13%, ППВ 33%, цевоводи 44%, резервоари и ПК 4%, пумпне станице 6%. ЕЦ су дате у табели 4.

3.8. Пример 7: Обезбеђење воде за пиће за туристички центар Јабучко Равниште на Старој планини [6]

Прорачун према Генералном пројекту из 2008. године уз полазне податке:

Предвиђа обезбеђење $Q_{\text{sred.}^{\text{god.}}} = 55$ L/s и $Q_{\text{max.}^{\text{dn.}}} = 80$ L/s, (достичу се у 15-ој години од изградње, у почетној 10% од ових вредности). Развојни пројекат обухвата следеће инвестиције/целине:

1 Каптирање 15-ак извора и довођење воде до Јабучког Равништа:	5.3 mil. €
2 Захватање, пречишћавање и довођење вода Големе реке до ЈР:	5.1 mil. €
<u>3 Секундарну мрежу на Јабучком Равништу (ЈР):</u>	<u>1.1 mil. €</u>
Укупна инвестиција	11.5 mil. €

Удео у укупној инвестицији: каптаже и водозахват 3%, ППВ 16%, цевоводи 55%, резервоари 14%, пумпне станице 12%. ЕЦ су дате у табели 4.

3.9. Пример 8: Продужење Рзавског система за Тополу и Аранђеловац

Прорачун према Студији из 2005. године [7] уз полазне податке:

Предвиђа обезбеђење $Q_{\text{sred.}^{\text{god.}}} = 190 \text{ L/s}$ и $Q_{\text{max.}^{\text{dn.}}} = 230 \text{ L/s}$, (достигу се у 26-ој години од изградње). Развојни пројекат обухвата следеће инвестиције/целине:

1 Продужетак РВС Рзав преко Рудника до Тополе:	20.8 mil. €
2 Цевоводе и резервоаре Топола-Аранђеловац:	6.0 mil. €
3 Снабдевање успутних потрошача и пар места у општини Љиг:	1.2 mil. €
<u>Укупна инвестиција</u>	<u>28.0 mil. €</u>

Удео у укупној инвестицији: цевоводи 95%. резервоари и ПК 2%, пумпне станице 3%. ЕЦ су дате у табели 4.

3.10. Пример 9: Изградња вишенаменског регионалног система (ВРС) „Црница“ за општине Параћин, Ђуприја и Јагодина

ВРС обухвата изградњу бране и формирање акумулације Забреге на Црници, доводне објекте сирове воде (тунел и цевоводи) до ХЕ „Батинац“ (искоришћење хидропотенцијала од око 100 m), одакле се део вода одводи за наводњавање, а део пречишћава на ППВ „Батинац“ и одводи цевоводима за водоснабдевање три општине [8]. Укупна инвестиција је 72.4 mil. €, од чега би се кроз цену воде покрило 42.4 mil. € - око 59% (40% од цене бране, без ХЕ „Батинац“, и 100% од осталих заједничких и водоводских објеката).

Предвиђа обезбеђење $Q_{\text{sred.}^{\text{god.}}} = 240 \text{ L/s}$ и $Q_{\text{max.}^{\text{dn.}}} = 300 \text{ L/s}$, (достигу се у 26-ој години од изградње).

Прорачун је рађен према Студији уз следеће полазне податке битне за одређивање ЕЦ за водоснабдевање:

1 Изградња бране и акумулације Забреге (40% од Инв.):	18.0 mil. €
2 Тунел и примарни заједнички цевоводи сирове воде:	6.7 mil. €
3 Изградња ХЕ Батинац:	0.0 mil. €
4 Изградња ППВ Батинац:	7.2 mil. €
5 Примарни цевоводи намењени водоснабдевању:	7.6 mil. €
6 Мања ПС за Параћин:	0.2 mil. €
7 Резервоари намењени водоснабдевању:	2.7 mil. €
<u>Укупна инвестиција</u>	<u>42.4 mil. €</u>

Удео у укупној инвестицији за водоснабдевање: брана и акумулација 42%, ППВ 17%, тунел и цевоводи 34%, резервоари 6%, пумпна станица 1%. ЕЦ су дате у табели 4.

3.11. Пример 10: Изградња регионалног водоводног система „Бачка“

РВС Бачка предвиђа хватање вода са потенцијалног изворишта у приобаљу Апатина - алувијон Дунава [9]. Након пречишћавања на ППВ, предвиђа се транспорт ка потрошачима у општинама Апатин, Сомбор, Озаци, Бач, Кула, Мали Иђош, Бачка Топола, Врбас, Србобран и Бечеј (свима или за део њих). Ово подручје има око 300-400.000 становника – потенцијалних потрошача.

У зависности од потреба, захватане годишње количине би се кретале у распону 30-60 mil. m³/год, док би оријентациона инвестиција за цео РВС била у распону 220-390 mil. €. Ова цена обухвата извориште, постројење за третман и дистрибутивне објекте до улаза у сваку од општина (не разматра питање транспорта воде унутар општина).

Повољно је што се велики број општина овог подручја (анкета рађена пре 7 година) изјаснило да решење свог водоснабдевања види кроз РВС (висока заинтересованост). Неповољно је што је мали обим истражних радова урађен до сада на изворишту, и што није рађена детаљнија пројектна документација за регионално снабдевање Бачке. Инвестициона и економска цена је дата према сличности са урађеним Генералним пројектом за Банат 2006. године.

Груби прорачун ЕЦ се даје уз полазне податке: Предвиђа обезбеђење $Q_{\text{сред. год.}} = 1300 \text{ L/s}$ и $Q_{\text{max. дн.}} = 1500 \text{ L/s}$, (достигу се у 25-ој години од изградње, у првој 50%). Развојни пројекат обухвата изградњу следећих инвестиција/целина:

1 Регионално извориште Апатин:	40 mil. €
2 Регионално ППВ Апатин:	45 mil. €
<u>3 Регионални дистрибутивни систем (цевоводи, рез. и ПС):</u>	<u>225 mil. €</u>
Укупна инвестиција	310 mil. €

Удео у укупној инвестицији: Бунари 8%, ППВ 14%, цевоводи 67%, Резервоари и ПК 5%, пумпне станице 6%. ЕЦ су дате у табели 4.

3.12. Табеларни приказ добијених вредности економске цене воде

ЕЦ за претходно разматране примере се дају у табели 4. Види се да је ЕЦ за мање инвестиције које побољшавају дати систем од 0.01 до 0.20 €/m³, да је

за све веће инвестиције испод 1.0 €/m³, а за већину њих до 0.5 €/m³ (уз релевантан повратни период и дисконтну стопу), што се чини прихватљивим.

Табела 4. ЕЦ за развојну инвестицију и дате дисконтне стопе и повратне периоде
Table 4. Economic price for Development Investment according to the presented discount rates and the payback periods

Економска цена (€/m ³) за Развојну инвестицију		Укупна	Дисконтна стопа 3%			Дисконтна стопа 5%			Напомена
		Инвест.	Повратни период (год)			Повратни период (год)			
		mil. €	10	30	50	10	30	50	
1	Доградња ППВ Штранд	15.7	0.13	0.10		0.14	0.11		Покрива цео конзум, без нових губитака
2	Главна канал. ЦС (НС)	9.0	0.09	0.07		0.10	0.07		За Q=600 L/s и P=250 kW Покрива цео конзум
3	Подсистем Поповица НС	1.7	0.64	0.44	0.41	0.68	0.48	0.45	Покрива само Поповица
			0.016	0.011		0.017	0.012		Покрива цео конзум
4	Фиктиван пример	0.70	0.17	0.10		0.19	0.12		Без нових губитака
5	Бован – ППВ Бресје	4.4	0.24	0.11		0.26	0.13		Уз губитке 3% ²
6	Лапово и Рача	7.9	0.93	0.41	0.28	1.00	0.48	0.34	Уз губитке 15% ²
7	Стара планина ¹	11.5		0.93	0.77		1.12	0.96	Уз губитке 10% ²
8	РВС Рзав (То и Ар)	28.0		0.61	0.40		0.74	0.53	Уз губитке 10% ²
9	РВС Црница	72.4 ³		0.70	0.48		0.83	0.59	Уз губитке 10% ²
10	РВС Бачка	310		0.94	0.65		1.12	0.82	Уз губитке 12% ²

¹ Без обзира што се општине Књажевац и Пирот нису договориле око коришћења изворских вода (1°), добијене ЕЦ су блиске датим вредностима.

² Ови губици се односе само на регионалне дистрибутивне објекте (до уласка у градске системе),

³ ЕЦ воде за пиће покрива 42.4 mil. €. Остало покривају енергетика и наводњавање,

4. Примери добијених економских цена воде у неким ВиК системима

Појам економске цене воде за један комунални систем подразумева покривање свих потребних издатака за погонске трошкове, свих трошкова амортизације и планираног развоја водовода и канализације, и накнаду држави за објекте од већег или ширег заједничког значаја. ЕЦ такође подразумева неостваривање профита од продаје комуналних услуга.

Економска цена воде се може поделити на 6 делова:

1. Оперативни (погонски) трошкови (за плате, струју, телефон, гориво, сва плаћања трећим лицима...), 2. Амортизација и 3. Развој водоводног система (изворишта, постројења, ПС, цевовода, резервоара и осталих водоводских објеката), 4. Амортизација и 5. Развој канализационог система (ПШОВ, ПС, колектора и осталих канализационих објеката), 6. Развој система регионалног значаја (фиксно за сва ВиК предузећа).

На основу спроведене анкете за потребе израде Закона о водама и Стратегије развоја водног сектора у Србији, која је, поред анализе годишњих трошкова једне комуналне фирме, обухватала и сагледавање комплетних водоводних и канализационих система, као и имовине (непокретне и покретне) које иста поседује, одређивани су погонски и амортизациони ВиК трошкови [10].

Питање развоја једног система је увек, када се не сагледава детаљно (кроз пројекат) потребна инвестиција, наравно, дискутабилно. Стога и ЕЦ воде за развој приказаних ВиК система треба прихватити само као оријентациону вредност, али и вероватно не много другачију од стварне. Развој система регионалног значаја би требало да буде брига целокупног друштва, па је за овај део ЕЦ усвојена иста вредност (0.25 €/m³), независно од стања расположивости вода и потреба за водом дате општине/система. Начин рачунања амортизације - усвојени коефицијенти су дати у оквиру табеле 5.

Табела 5. Користићене годишње амортизационе стопе

Table 5. Used annual depreciation rates

Део ЈКП	Амортизација на год. нивоу (%)
Некретнине	1.8 %
Механизација и разна опрема: Аутомобили, камиони и остала возила (све што не спада у некретнине и није део ВиК система)	12.0 %
Водоводни и канализациони систем	
Извориште	3.0 %
ПШВ и ПШОВ	3.5 %
Пумпне станице (све)	4.0%
Цевоводи и колектори	2.0 %
Резервоари	2.0 %
Остали делови водоводног и канализационог система	3.0 %

Приликом прорачуна ЕЦ воде, претпоставило се фактурисање од 75% од испоручених количина вода и наплата 100% од фактурисаних.

За ВиК системе за које је ЕЦ одређивана раније (пре 10 и више година), све цене су прерачунате на данашњи ниво (множене са фактором 1.3-1.5). Добијене вредности за све ВиК системе се крећу у распону (грубо) од 1.5 €/m³ до 3.0 €/m³, са просеком од око 2 €/m³ (табела 6). Та ЕЦ је приближно дупло већа од садашње, и за четворочлано домаћинство би просечна месечна фактура у Србији износила око 3.500 динара.

Табела 6. Оријентационе вредности ЕЦ воде за један број система у Србији
Table 6. Approximately Economic water prices for a number of systems in Serbia

Део Србије - систем		Погонски трошкови	Водоводски системи (€/m ³)		Канализациони системи (€/m ³)		Накнада за Рег. системе	Укупно
		€/m ³	Амортиз	Развој	Амортиз.	Развој	€/m ³	€/m ³
1. Београд. ВиК (БВК)		0.63	0.34	0.18	0.23	0.49	0.25	2.1
2. Централна Србија	ЈКП Чачак	0.69	0.16	0.09	0.28	0.29	0.25	1.8
	ЈКП Ужице	0.50	0.79	0.19	0.16	0.18	0.25	2.1
	ЈКП Пирот	0.71	0.26	0.05	0.52	0.18	0.25	2.0
	ЈКП Бор	0.63	0.25	0.08	0.05	0.20	0.25	1.5
	ЈКП Зајечар	0.88	0.64	0.12	0.05	0.29	0.25	2.2
	ЈКП Аранђеловац	0.42	1.18	0.18	0.12	0.76	0.25	2.9
	ЈКП Ниш	0.73	0.16	0.09	0.12	0.25	0.25	1.6
	ЈКП Обреновац	0.56	0.39	0.23	0.11	0.50	0.25	2.0
	ЈКП Бујановац	0.85	0.13	0.11	0.00	1.24	0.25	2.6
	Просек узорка ЦС	0.66	0.44	0.13	0.16	0.43	0.25	2.1
3. Војводина	ЈКП Сомбор	0.41	0.18	0.11	0.31	0.52	0.25	1.8
	ЈКП Бач. Топола	0.57	0.10	0.21	0.07	0.68	0.25	1.9
	ЈКП Озаци	0.58	0.16	0.43	0.07	0.38	0.25	1.9
	ЈКП Бела Црква	0.50	0.30	0.39	0.07	0.34	0.25	1.9
	ЈКП Нова Црња	0.60	0.31	0.16	0.00	0.93	0.25	2.2
	ЈКП Инђија	0.83	0.15	0.54	0.02	0.55	0.25	2.3
	Просек узорка Вој.	0.58	0.20	0.31	0.09	0.57	0.25	2.0
Просек (1+2+3)/3		0.63	0.33	0.20	0.16	0.50	0.25	2.1

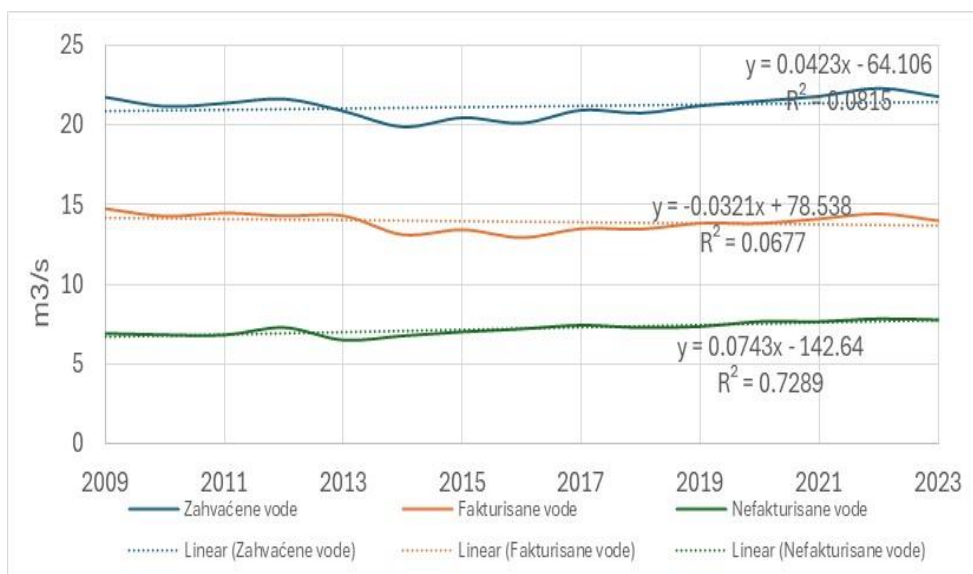
5. Какав се развој ВиК система може очекивати у ближој будућности

5.1. У случају задржавања социјалне цене воде

У периоду 2009-2023, захваћене воде су у благом порасту, а фактурисане у благом опадању, па су нефактурисане воде у сталном порасту (слика 3).

Када се прерачуна износ губитака у проценте, добија се да се на сваке 3 године нефактурисане воде повећавају за 1%, што није мало. Али, још је битније уочити да је коефицијент детерминације R^2 низак за захваћене и фактурисане воде, док је значајан код губитака, што упућује на њихово доста стабилно (константно) просечно повећање у нашим водоводним системима.

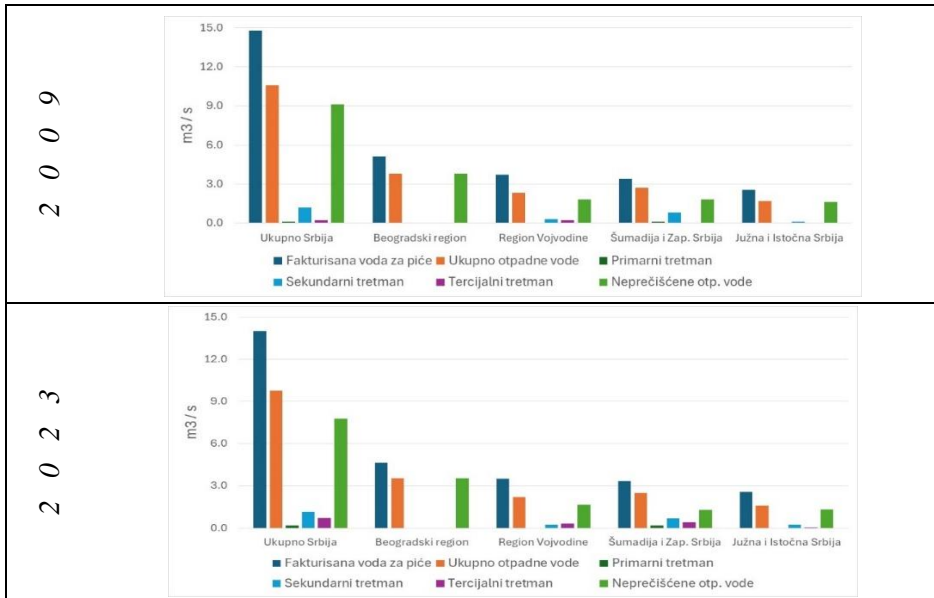
То је последица, првенствено, вишедеценијског неулагања у ВиК системе, тј. необезбеђивања њиховог систематског финансирања, уз контролу рада комуналних фирми (која је и до сада углавном била присутна).



Слика 3. Просечне годишње захваћене, фактурисане и нефактурисане воде по подацима РЗС за целу Србију у m^3/s , 2009-2023.

Figure 3. Average annual captured, invoiced and uninvoiced water according to data of Republic Statistics bureau, for the whole of Serbia in m^3/s , 2009-2023

Слика 4 приказује промене количине фактурисаних вода за пиће, и сва 3 типа третмана отпадних вода у m^3/s по регионима Србије. Иако су количине пречишћене отпадне воде врло мале (нема финансијске подршке), уочљива је даља стагнација за ових 15 година (мали је изузетак терцијални третман).



Слика 4. Фактурисане воде за пиће и отпадне воде по врстама третмана, просечно по регионима Србије по подацима РЗС у m^3/s , 2009. год. и 2023 год.
 Figure 4. Invoiced drinking water and waste water by type of treatment, average by region of Serbia according to data of Republic Statistics bureau, in m^3/s , 2009 and 2023.

5.2. У случају успостављања економске цене воде

Повећање цене воде доводи до њеног смањеног трошења, што је повољно у сушним периодима. Пример таквог утицаја имамо у Естонији - слика 5 [11].



Слика 5. Промене цене воде и остварена потрошња у Естонији (1992 – 2011)
 Figure 5. Changes in water prices and realized consumption in Estonia (1992 - 2011)

Позитиван утицај цене воде може се добро видети у новосадском систему: 2009. године цена воде и канализације укупно је износила 26,87 дин/м³ (једна од најнижих у Србији). У наредне две године цена је повећана за 3 пута и износила је 80,87 дин/м³. То је утицало на следеће: планови су урађени спрам стварних потреба система, тј, урађене су велике количине битне пројектно техничке документације које су омогућиле извођење радова како реконструкције тако и изградње објеката ВиК система.

Само у 2011. години је уговорено, изведено и фактурисано радова у вредности 11 милиона евра. Такође, у периоду током и после 2011. године урађена је пројектно техничка документација реконструкције постојеће и изградње нове водоводне и канализационе мреже чија пројектантска вредност радова износи 1.300.000.000 динара. Сви ови пројекти после су ушли у програм „Чисте Србије“. Између 2011. и 2022. године није било повећања цене воде и канализације (2022. године цена је повећана на 90,57 дин/м³). Нажалост, трошкови предузећа су толико порасли да се финансијска снага убрзано смањивала и улагања у систем била су све мања.

Успостављање ЕЦ је потребно да не би дошло до даљег нарушавања стања наших ВиК система. Али, оно се не сме одвијати стихијски, већ плански, уз реорганизацију сектора вода у држави, и уз праћење и контролу ових промена од надлежних државних служби (које би се делом формирале за ове потребе). Планско и коректно формирање ЕЦ, уз остале потребне промене, омогућило би стабилан развој комуналних система, избегавање узимања неповољних кредита, и заштиту од њихове приватизације страним фирмама. Додатно, омогућило би задржавање дела квалитетног млађег стручног кадра у земљи.

6. Закључак

Комунални системи, као и сви други, се троше (старе), и уколико се не одржавају/обнављају, неминовно долази до њихове девастације.

Први циљ овог рада је био да покаже да мање реконструкције/доградње ВиК система, комунална предузећа, уз добру вољу и минимално повећање цене воде, могу саме да реше. За разлику од њих, инвестиционо захтевније техничке проблеме, који постоје у нашим ВиК системима, са садашњом финансијском регулативом, није лако (најчешће и није могуће) решити. Иако је све техничке проблеме у принципу могуће решити, истиче се значај/корист њиховог раног дијагностицирања. Желело се и да се укаже колико су неки проблеми регионално заступљени/различити.

Други циљ је да укаже да су организациони проблеми, иако се можда на први поглед чине малим, врло значајни, поготову имајући у виду недовољан

број квалитетног млађег кадра у комуналним фирмама и разним установама из бранше као последица недовољне (финансијске) стимулације.

Трећи циљ је био да укаже да се често заостаје у изради планске документације, што је донекле и разумљиво имајући у виду сва дешавања из ближе и нешто даље прошлости у региону, па и шире, као и запостављеност водног, а поготово комуналног сектора у земљи.

Четврти циљ овог рада није био да превише промовише поједина техничка решења, нити да тврди да је свака од оријентационо срачунатих економских цена 100% тачна (свакако се очекује да су све/већина њих унутар граница добијене економске цене $\pm 30\%$), већ да она није „баук“ и да је свака од датих инвестиција (укључујући и оне веће) више него доступна за економско стање у земљи/друштву (пример подсистема Поповица из водовода Нови Сад је врло илустративан). Битно је и запазити да се ЕЦ (изражена у $\text{€}/\text{m}^3$) мења кроз време, чак и када се курс евра према динару не мења: пре 10-15 година је просечна у ВиК у Србији била $1.5 \text{ €}/\text{m}^3$, а данас је око $2 \text{ €}/\text{m}^3$, као последица промене свих других цена, а посебно електричне енергије.

Пети циљ је да укаже на позитивност преласка са социјалне на ЕЦ воде, али уз планску свеобухватност и систематичност таквог подухвата.

7. Литература

- [1] Arvaji Z, Karadžić I, Upravljanje gubicima u Novom Sadu – primer iz prakse, 33. *Međunarodna konferencija „Vodovod i kanalizacija '12“*, 09–12.10.2012. Vršac, str. 95-100, Savez inženjera i tehničara Srbije, Beograd, 2012.
- [2] *Стратегија управљања водама на територији Републике Србије до 2034. године*, наручилац: Републичка дирекција за воде, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд, 2016.
- [3] Интерна документација „Водовод и канализација“ Нови Сад
- [4] *Претходна Студија оправданости са Генералним пројектом за РВС Доње-Јужноморавски, подсистем Моравички*, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд, 2019-2020.
- [5] Димкић Д, Борели-Здравковић Ђ, Регионални водоводни подсистем Крагујевачког РВС за Баточину, Лапово и Рачу, 33. *Стручно-научни скуп са међународним учешћем „Водовод и канализација '12“*, Вршац, 09-12. октобар 2012, стр. 62-69, Савез инжењера и техничара Србије, Београд, 2012.
- [6] *Генерални пројекат водоснабдевања будућег туристичког центра Јабучко Равниште - Стара планина*, наручилац: ЈП Стара планина Књажевац Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд, 2008.
- [7] Димкић Д, Мелентијевић М, Упућеност Аранђеловца и Тополе на заједничко водоснабдевање продавањем РВС Рзав, 37. *Конференција о актуелним*

- проблемима коришћења и заштите вода* „ВОДА 2008“, 03.-06.06.2008, Матарушка Бања, стр. 437-442, Српско друштво за заштиту вода, Београд, 2008.
- [8] Димкић Д, Јосиповић Ј, Вишенаменски систем Забрега на Црници за општине Јагодина, Ћуприја и Параћин, *Вода и санитарна техника*, No. 3/2007, стр. 37-44, Удружење за технологију воде и санитарно инжењерство, Београд, 2007.
- [9] *Водопривредна основа Србије (ВОС)*, наручилац: Министарство за пољопривреду и заштиту животне средине – Републичка дирекција за воде (РДВ), Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд, 2001.
- [10] Dimkić D, Milovanović M, Dimkić M, Milojković S, Current and Economic Price of Water in Serbia, *4th EWaS International Conference Valuing the Water, Carbon, Ecological Footprints of Human Activities*, 24–27 June 2020, Editors: Vasilis Kanakoudis and Evangelos Keramaris, pp. 67-74, Corfu Island, Greece, 2020.
- [11] https://unece.org/fileadmin/DAM/SPECA/documents/kdb/2013/Seminar_Turkmenistan/Liiv.1.pdf

ANALIZA MOGUĆNOSTI ZA POVEĆAVANJE EFIKASNOSTI NAPLATE RAČUNA ZA VODU BEZ POVEĆAVANJA TROŠKOVA

ANALYSIS OF OPPORTUNITIES FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF WATER BILLING WITHOUT INCREASING COSTS

MILAN ĐORĐEVIĆ¹

Pregledni stručni rad
DOI: 10.5937/VIK24039D

Rezime: Efikasnost naplate računa za vodu je od ključnog značaja za uspešnost poslovanja vodovoda. Cilj ovog rada je da ukaže na neke od mogućnosti za povećavanje uspešnosti naplate računa za vodu. Ovaj rad se zasniva na iskustvima u praksi u više od 30 vodovoda sa ovih prostora, višegodišnjoj analizi podataka i postignutih rezultata u vezi sa efikasnošću naplate vode uključujući i praćenje kvaliteta evidencije potrošnje.

Ključne reči: efikasnost naplate računa za vodu, kvalitet očitavanja potrošnje vode

Abstract: The efficiency of water bill collection is crucial for the success of the water supply business. This paper aims to explore strategies for enhancing water bill collection effectiveness. It is based on practical experiences from over 30 water supply systems, multi-year data analysis, and results concerning water billing efficiency, including the monitoring of consumption record quality.

Key Words: Efficiency of water bill collection, quality of water consumption reading

1. Uvod

Za potrebe sačinjavanja uporednog pregleda i analize stanja u pogledu efikasnosti naplate komunalnih usluga i ocene kvaliteta evidencije potrošnje vode podatke je dostavilo 38 komunalnih preduzeća.

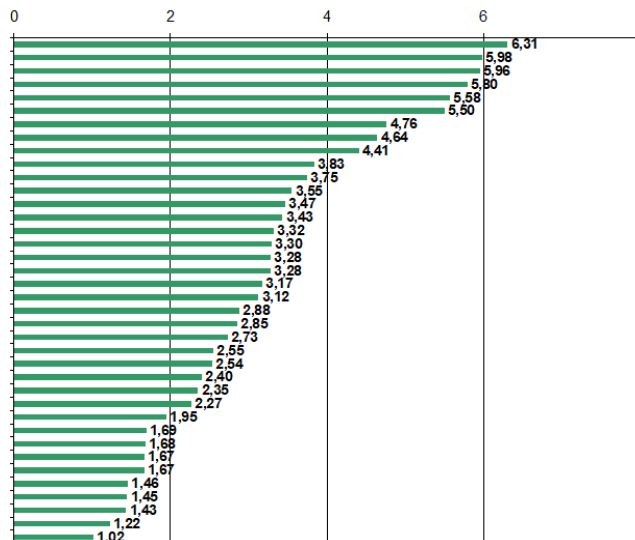
Jedan od primarnih ciljeva ove analize je da ukaže na faktore koji su u određenoj korelaciji sa postignutim rezultatima u vezi sa efikasnošću naplate. Uobičajeno komunalna preduzeća ocenjuju efikasnost sistema unutar nekog perioda preko pre-

¹ Milan Đorđević, Omnidata, Koste Abraševića 2, Šabac, Srbija, omnidatadoo@gmail.com, ORCID: 0009-0001-7036-9984

netog salda potraživanja u naredni period i preko odnosa naplaćenih i fakturiranih potraživanja na određeni period koji najčešće zovu „procentom“ naplate. Međutim, pogotovo odnos naplaćenih i fakturiranih potraživanja unutar određenog vremenskog perioda, može varirati u širokom opsegu čak i kada se izračunava na period od godinu dana, tako da nije posebno pogodan za uporedni pregled efikasnosti naplate.

Daleko praktičniji rezultat za potrebe uporednog pregleda daje odnos naplaćenih potraživanja u nekom periodu i salda nenaplaćenih potraživanja koja su prenetu u naredni period (N/S), a sem toga na ovaj način se u rezultat integrišu sva nenaplaćena potraživanja, zaključno sa gornjom granicom perioda u kome se posmatra, što daje celovitiju sliku.

Ako se ima u vidu da komunalna preduzeća decembarske račune naplaćuju tek u narednoj godini, a pod pretpostavkom da su zaduženja za račune u svim mesecima jednaka i da samo to nije naplaćeno, N/S bi iznosio 12. U praksi je takav idealan rezultat nemoguće ostvariti, jer u realnosti postoje i određena zaostala potraživanja, koja zajedno sa decembarskim zaduženjem ulaze u saldo, koji se prenosi u narednu godinu, a ta zaostala potraživanja su obično veća od samog decembarskog zaduženja.



Slika 1. Uporedni pregled odnosa naplaćenih potraživanja u 2023. i salda prenetih potraživanja u 2024. godinu (N/S)²

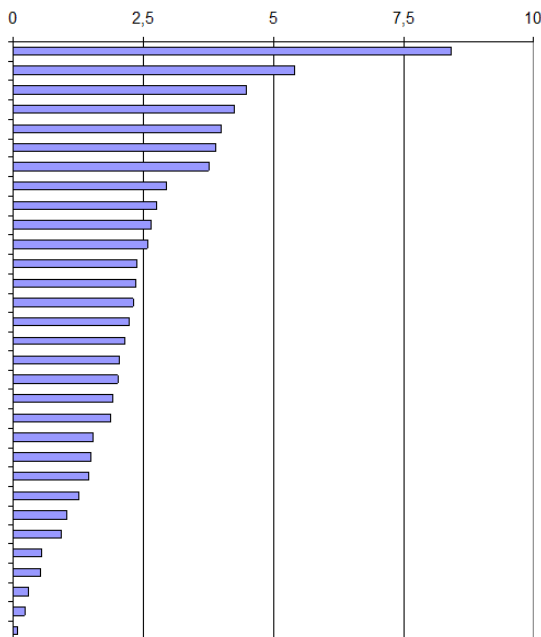
Figure 1. Comparative overview of the ratio of collected receivables in 2023 and the balance of transferred receivables in 2024 (N/S)

² Srednja vrednost N/S za 38 komunalnih preduzeća iznosi 3,22.

Vrlo je očigledno da se kod komunalnih preduzeća N/S razlikuje i naravno za ovo može da bude nebrojeno mnogo različitih faktora od kojih na neke komunalna preduzeća u različitoj meri mogu da utiču. Nadalje, analiziramo neke od faktora koji su zajednički za sva komunalna preduzeća, tako što ćemo tražiti kakvu-takvu vezu sa naplaćenim ili nenaplaćenim potraživanjima u cilju podsticanja razmene pozitivnih iskustava [1].

2. Analiza postignutih rezultata

U poslednjih nekoliko godina vodovodi sve više zanemaruju značaj tačnog i blagovremenog utvrđivanja potrošnje, previđajući da postoji određena korelacija između kvaliteta podataka o potrošnji i efikasnosti naplate [2], [3]. To se prilično jasno vidi sa aspekta odnosa naplaćenih i fakturisanih potraživanja (N/F).



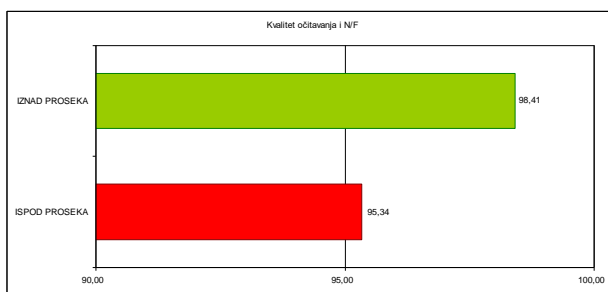
Slika 2. Procena prosečnog broja očitavanja po vodomeru na osnovu podataka o potrošnji 31 vodovoda različitih veličina

Figure 2. Estimate of the average number of readings per water meter based on the consumption data of 31 waterworks of different sizes

Vodovodi koji su imali kvalitet očitavanja vodomera iznad proseka, imali su odnos naplaćenih i fakturisanih potraživanja 98,41%, što je bolje od onih sa kvalitetom očitavanja ispod proseka, koji su tu imali 95,34%. Bolji kvalitet očitavanja potrošnje vode ukazuje na veću organizacionu uređenost vodovoda i bolji odnos sa svojom osnovnom delatnošću. Evidentno je da kvalitet očitavanja u nekoj meri utiče

na efikasnost naplate i da u cilju održavanja kvaliteta očitavanja mogu, moraju i trebaju biti preduzete neke dodatne mere kao što su:

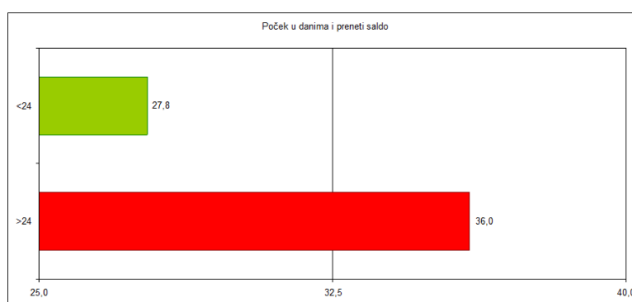
- Povećavanje broja očitavanja kod varijacije cena, naročito ako se primenjuju blok tarife ili povećava cena
- Prevencija pojave ekstremno velikih računa i primena mehanizama amortizacije odstupanja periode očitavanja
- Očuvanje kvaliteta evidencije potrošnje u uslovima smanjivanja obima i primena mehanizma adaptacije prema okolnostima selektivno očitavanje zasnovano na informatičkoj neizvesnosti



Slika 3. Odnos naplaćenih i fakturisanih potraživanja u 2023. godinu (N/F) na osnovu podataka 31 vodovoda različitih veličina

Figure 3. Ratio of collected and invoiced claims in 2023 (N/F) based on data from 31 water utilities of different sizes

Na rast prenetog salda u narednu godinu značajan uticaj ima varijacija ili porast iznosa faktura koje mogu biti posledica promena cena usluga, neredovnog očitavanja brojila i primene nelinearnog tarifnog sistema - na primer blok tarifa.



Slika 4. Odnos salda nenaplaćenih i fakturisanih potraživanja u 2023. godinu (S/F) u osnovu broja dana datih kao poček za plaćanje faktura

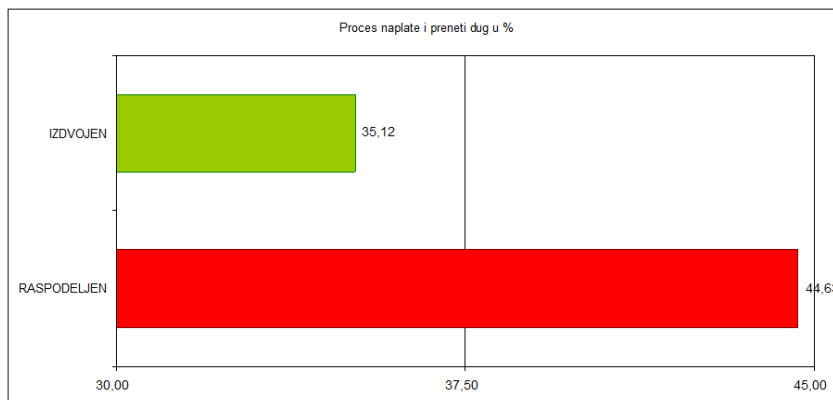
Figure 4. Ratio of unpaid and invoiced receivables balance in 2023 (S/F) based on the number of days given as a grace period for payment of invoices

U cilju „bolje“ naplate komunalna preduzeća pod pritiskom lokalne samouprave uvode popust od 5% za redovnost plaćanja, ali to ili uopšte ne popravljaju ili samo prividno „popravljaju“ efikasnost naplate. Vrlo je očigledno da takvi popusti ozbiljno „udaraju“ na likvidnost preduzeća. Nažalost, u praksi smo sretali i popuste na redovnost plaćanja od čak 10%, iako je vrlo očigledno da što je popust veći to efektivno manje novca dolazi u preduzeće.

Uglavnom, pogotovo kada se radi o fizičkim licima, komunalna preduzeća na svojim redovnim mesečnim računima kao datum dospeća - rok za uplatu, stavljaju poslednji dan u narednom kalendarskom mesecu.

Na taj način očekuje se smanjivanje rizika od reklamacija od strane potrošača za slučaj neblagovremenog dostavljanja računa i eventualno obračunate zakonske zatezne kamate. Međutim u iole uređenom sistemu distribucije računa to je relativno malo verovatno, pa čak i da se desi, neuporedivo je manje štetno u odnosu na štetno dejstvo od davanja ovolikog počeka, imajući u vidu vreme nastanka troškova „proizvodnje“ usluga i poreskih obaveza.

Tako su na primer preneti potraživanja u narednu godinu kod komunalnih preduzeća koja ostavljaju rok za uplatu do 24-og dana u narednom mesecu preneti saldo 27,8%, a 36% kod onih koji ostavljaju duži rok. Dakle, ispostavlja se da komunalna preduzeća koja optimalizuju, odnosno stavljaju kraći rok za uplatu po redovnim mesečnim računima, imaju lakšu, blago-vremeniju, bolju i efikasniju naplatu. Očigledno je da se isplati poraditi na tome da se optimalizuje i skрати vreme od nastanka prometa do produkcije računa, kao i vreme za dostavu računa potrošaču.

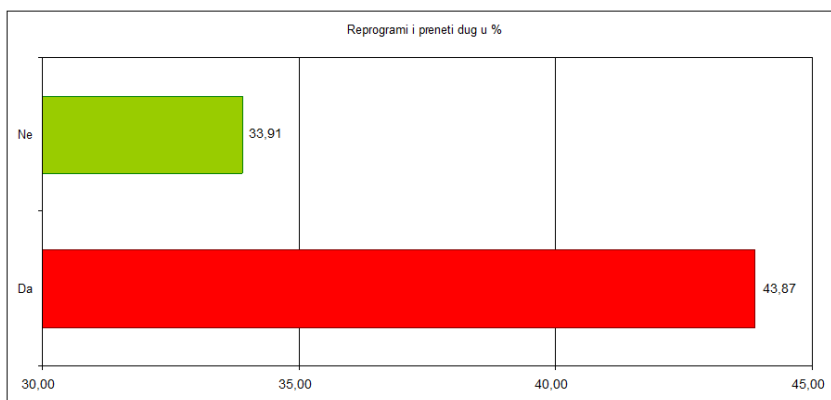


Slika 5. Odnos salda nenaplaćenih i fakturisanih potraživanja u 2023. godini (S/F) i izdvojenost procesa naplate

Figure 5. The ratio of unpaid and invoiced receivables in 2023 (S/F) and the separation of the collection process

Interesantno je da komunalna preduzeća na ovim prostorima, vrlo često, još uvek jasno ne prepoznaju svoje osnovne procese kao što su na primer proizvodnja, „distribucija“ i naplata [4]. Proces naplate komunalnih usluga je kompleksan i obuhvata poslove evidentiranja potrošača, utvrđivanja i evidentiranja njihove potrošnje, obračuna i fakturisanja, prijema, obrade i rešavanja reklamacija, evidentiranja uplata, naplate teško naplativih i zaostalih potraživanja, pokretanja i vođenja pravnih sporova, informisanja i komunikacije sa potrošačima...

Nažalost, još uvek postoje komunalna preduzeća koja ne prepoznaju neophodnost integracije tih poslovnih aktivnosti u jedan sektor, što ima ozbiljne posledice po efikasnost naplate njihovih usluga. Pa tako imamo da je preneti saldo kod preduzeća koja imaju integrisan proces naplate 35,1%, a kod onih koja imaju proces naplate raspodeljen na više sektora imamo da je preneti saldo 44,6%.



Slika 6. Odnos salda nenaplaćenih i fakturisanih potraživanja u 2023. godini (S/F) i politika reprograma

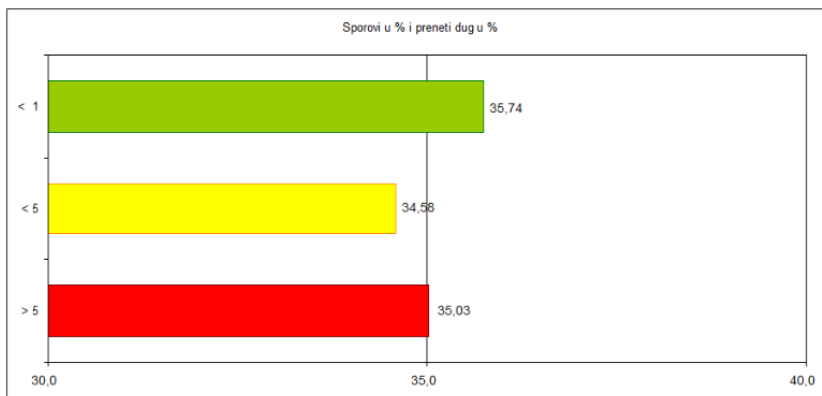
Figure 6. Ratio of unpaid and invoiced receivables balance in 2023. (S/F) and reprogramming policy

Kako bi smanjila akumulaciju prenetog salda i poboljšala efikasnost naplate teško naplativih i zaostalih potraživanja, komunalna preduzeća pribegavaju postupku reprograma potraživanja na osnovu sporazuma sa potrošačima, pri čemu se neredovnim platišama uglavnom čine i dodatni ustupci: stornira zatezna kamate, daje mogućnost za plaćanje na veliki broj rata, pa čak i daje mogućnost za dodatno odlaganje već odavno dospelih obaveza, a sem toga se i zanemaruju troškovi samog postupka reprograma koji nikako nisu zanemarljivi.

Kod preduzeća koja imaju „tvrđu“ politiku u pogledu sklapanja reprograma preneti saldo iznosi 33,9%, a kod preduzeća koja imaju „mekšu“ politiku odnosno više se oslanjaju na reprogramme, kao sredstvo za naplatu teško naplativih i zaostalih

potraživanja, preneti saldo iznosi 43,9%. Određeno oslanjanje na postupak reprograma može dati određeni rezultat, na koji se mora nastaviti postupak izvršenja, ali olako sklapanje sporazuma o reprogramu očigledno ne donosi očekivani rezultat, koji povećava broj postupaka izvršenja.

Određeni broj preduzeća pribegava postupcima izvršenja i pre pokušaja reprograma. Postupci izvršenja su daleko skuplji od postupka reprograma, a imaju još manji učinak, pa je i teže uočiti njihov uticaj na ukupni rezultat.



Slika 7. Odnos salda nenaplaćenih i fakturisanih potraživanja u 2023. godini (S/F) i politika naplate u pravnim postupcima

Figure 7. Ratio of unpaid and invoiced claims in 2023 (S/F) and collection policy in legal proceedings

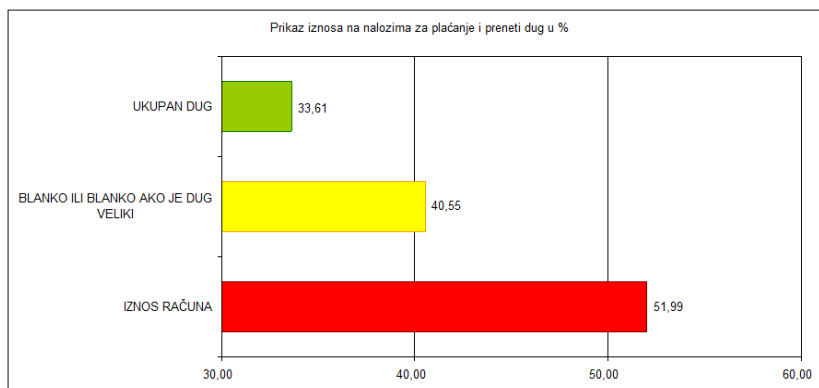
Sa aspekta salda prenetih potraživanja može se reći da umerena politika ulaženja u sporove sa neredovnim platišama, odnosno primene izvršnog postupka, dala bolji rezultat, na primer ako je verovatnoća spora od 1% do 5%, saldo prenetih potraživanja je 34,6%, a u ostalim slučajevima je veći. Tako tamo gde smo imali pokretanje sporova za ispod 1% potrošača, imali smo saldo prenetih potraživanja 35,7%, a ako je tim postupkom zahvaćeno iznad 5% potrošača, imali smo 35%.

I dalje, su pravni postupci, sem što mogu da traju dugo, veoma rizični, zbog relativno male verovatnoće uspešne naplate potraživanja tim putem, tako da je u odnosu na iznos potraživanja sa kojim se u postupke ulazi može očekivati prinos ispod 20% u proseku. Treba biti vrlo oprezan i ove postupke primenjivati dozirano, kako bi se izbegao finansijski gubitak koji je posledica visokih troškova postupaka.

Nešto bolji rezultati u naplati teško naplativih i zaostalih potraživanja postižu se kada se praktikuje i isključivanje usluga, ali je stanje u poslovnom okruženju na ovim prostorima takvo da retko dozvoljava postupak isključenja potrošača i/ili obustavljanja usluga. Isključenje potrošača vode je i dalje jedna od najefikasnijih

stvari u kontekstu naplate teško naplativih i zaostalih potraživanja, redukuje troškove preduzeća i smanjuje poresko opterećenje, čime se popravljaju tekuća likvidnost.

Na likvidnost preduzeća povoljno utiče redovno očitavanje, obračun i fakturisanje potrošnje vode. Na redovnim mesečnim računima pored iznosa zaduženja za konkretan obračunski period uglavnom se prikazuje i zaduženje iz prethodnog perioda, dok se na poslednjoj trećini stranice ispod specifikacije zaduženja daju i instrukcije za uplatu koje se mogu formirati na više različitih načina.



Slika 8. Odnos salda nenaplaćenih i fakturisanih potraživanja u 2023. godini (S/F) i prikaza iznosa za uplatu na redovnim mesečnim računima

Figure 8. The ratio of unpaid and invoiced receivables in 2023 (S/F) and the amount to be paid on regular monthly invoices

Preduzeća koja su u instrukciju za plaćanje na računima stavljala iznos ukupnog duga su kao preneti saldo imala 33,6%, dok je kod preduzeća koja to nisu činila preneti saldo bio u proseku 46,6%. Među ovim poslednjim, preduzeća koja u instrukciju za uplatu stavljaju isključivo iznos računa za konkretan obračunski period, preneti saldo bio je skoro 52%.

Prosto je neverovatno kakvu potencijalnu povezanost sa efikasnošću naplate možda ima način ispisa iznosa za uplatu u instrukcijama za plaćanje koje se daju uz račune, odnosno u kakvoj korelaciji to može da bude sa efikasnošću naplate i da je način formiranja instrukcije za plaćanje i dalje detalj na koji se ne obraća dužna pažnja.

3. Zaključak

Organizaciono tehničke mere koje se mogu preduzeti u cilju povećavanja efikasnosti naplata:

- Integracija procesa naplate u jednu službu/sektor

- organizaciju prilagoditi procesu
- Mobilnost i rad na terenu, neposredna i posredna komunikacija sa potrošačima korišćenjem savremenih komunikacionih sredstava i medija
- Obezbeđivanje tačnih osnovica za obračun
 - redovno očitavanje, podržano PDA
 - redovan popis potrošača, pogotovo ako nema brojila
- Prevencija uzročnika veštačke varijacije iznosa računa
 - amortizacija odstupanja periode očitavanja
 - fleksibilna strategija očitavanja mernih mesta zasnovana na informatičkoj neizvesnosti
- Naplata teško naplativih i zaostalih potraživanja
 - ukidanje popusta na redovnost plaćanja
 - ukidanje subvencija ukoliko se ne izmiruju računi
 - redovno opominjanje, svrsishodni reprogrami, izbegavanje sporova
 - isključenje i ukidanje usluga, ako za to ima uslova i mogućnosti i naravno podrške lokalne samouprave
 - redovan obračun zakonske zatezne kamate
- Obračun i fakturisanje
 - odmah po isteku meseca nakon evidentiranja svih uplata, sa optimalnim datumom dospeća
 - ukupni dospeli dug na dan obračuna ispisan kao iznos za uplatu
 - ubrzavanje produkcije i dostave računa
- Standardizovati reklamacioni postupak
 - kao osnovni alat za prikupljanje informacija, analizu, rešavanje i prevenciju neusaglašenosti

4. Literatura

- [1] Milan Đorđević: Organizovanje i intenziviranje razmene znanja i gotovih rešenja u cilju povećavanja efikasnosti naplate, Stručni rad, Zbornik radova, *Savetovanje Vodovod i kanalizacija`10*, Savez inženjera i tehničara Srbije, Beograd, oktobar 2010.
- [2] Milan Đorđević: Merenje potrošnje vode u funkciji efikasnosti poslovanja vodovoda i upravljanja vodovodnim sistemom, Stručni rad, Zbornik radova, *Savetovanje Vodovod i kanalizacija`17*, Savez inženjera i tehničara Srbije, Kragujevac, oktobar 2017.

- [3] Milan Đorđević, Kvalitet očitavanja vodomera i efikasnost naplate, Zbornik radova, *Savetovanje Vodovod i kanalizacija '23*, Savez inženjera i tehničara Srbije, Zlatibor, oktobar 2023.
- [4] Milan Đorđević: Organizacione i tehničke promene u cilju povećavanja efikasnosti procesa obračuna i naplate, Stručni rad, *Deseta međunarodna konferencija, Vodovodni i kanalizacioni sistemi*, UTVSI, Jahorina, 2010, Zbornik radova, Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo, Beograd, 2010.

ПРОБЛЕМАТИКА НАКНАДЕ ШТЕТЕ КАО ПОСЛЕДИЦА ХАВАРИЈА И РАСКОПАВАЊА НА ВОДОВОДНОЈ И КАНАЛИЗАЦИОНОЈ МРЕЖИ У ГРАДУ КРАГУЈЕВЦУ

THE PROBLEM OF DAMAGE COMPENSATION AS A RESULT OF ACCIDENTS AND EXCAVATION ON THE WATER AND SEWER NETWORK IN THE CITY OF KRAGUJEVAC

ИВАН СТУПИЋ¹

*Стручни рад
DOI: 10.5937/VIK24049S*

Резиме: На територији града Крагујевца, инфраструктурни изазови везани за водоводну, канализациону и атмосферску мрежу су значајни, с обзиром на њихову велику дужину, па одржавање ових система постаје све захтевније због честих временских непогода са обилним падавинама у кратким интервалима и хаваријама на мрежи. Додатно, повећан интензитет саобраћаја и кретања пешака доприносе учесталим и штетним догађајима који могу резултирати потраживањем накнаде материјалне штете од стране надлежних градских институција попут ЈКП „Водовод и канализација“ Крагујевац и града Крагујевца. Стога, ефикасно управљање овим изазовима захтева систематски и аналитички приступ. Кључни циљ би требао бити смањење потенцијалних ризика и догађаја до прихватљивог нивоа. То укључује имплементацију ригорозних превентивних мера, побољшање инфраструктуре тамо где је то потребно, едукацију грађана о важности придржавања прописа, као и јасно дефинисану процедуру накнаде штете и избегавање додатних трошкова.

Кључне речи: накнада, штета, раскопавање, одржавање

Abstract: In the territory of the city of Kragujevac, infrastructural challenges related to the water, sewerage and atmospheric network are significant, considering their large number, and the maintenance of these systems becomes more demanding due to frequent weather events with heavy rainfall at short intervals and damage to the networks. Additionally, the increased intensity of traffic and pedestrian traffic contribute to frequent and harmful accidents that may result in the request for material damage from the country's relevant city institutions such as JKP „Vodovod i kanalizacija“ Kragujevac and the city of Kragujevac.

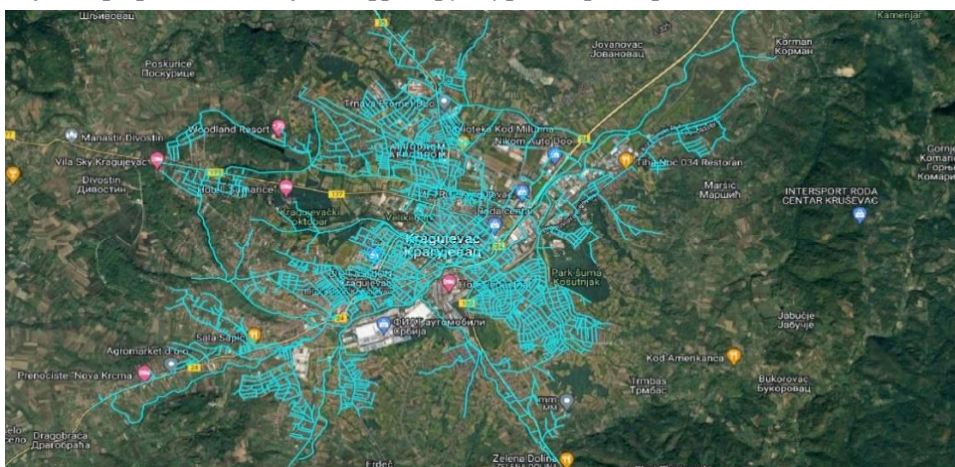
¹ Иван Ступић, ЈКП „Водовод и канализација“ Краља Александра I Карађорђевића 48, Крагујевац, stupicivan@yahoo.com, ORCID: 0009-0005-1185-0101

Therefore, effective management of these challenges requires a systematic and analytical approach. The key objective should be to reduce potential risks and events to an acceptable level. This includes implementing rigorous preventive measures, improving infrastructure where necessary, educating citizens on the importance of compliance, as well as a clearly defined procedure for compensation and avoiding additional costs.

Key Words: Compensation, damage, excavation, maintenance

1. Увод

Град Крагујевац, као центар Шумадије, обухвата широк спектар функција и значајних инфраструктурних карактеристика. Смештен је на раскрсници кључних државних путева и магистралних саобраћајница, те железничког и друмског коридора 10, што му омогућава повезаност са остатком Србије и Европом. Град се простире на површини од 835 квадратних километара. Развој града је уско везан за аутомобилску и наменску индустрију, које су у прошлом веку бележиле значајан напредак. У исто време, град се брзо урбанизовао, са великим досељавањем становништва из других крајева. Ова стихијска урбанизација често је резултирала насељавањем на локацијама које нису оптималне за прикључење на комуналну инфраструктуру. Надморска висина града варира од 185 до 216 метра, што је такође обликовало распоред градске и приградске архитектуре. Крагујевац се такође истиче као важан административни, образовни, здравствени и културни центар, пружајући широк спектар услуга и могућности за своје становништво. Град Крагујевац, као централно мјесто Шумадије, има изузетно важну улогу у Србији с обзиром на свој географски положај и инфраструктурне карактеристике.



Слика 1. Скица мреже отпадних вода
Figure 1. Sketch of waste water network

Укратко, Крагујевац није само индустријски центар већ и културно, образовно и административно средиште, које се континуирано развија и прилагођава својим функционалним потребама и изазовима урбаног живота.

2. Проблематика одржавања мреже и раскопавања јавне површине

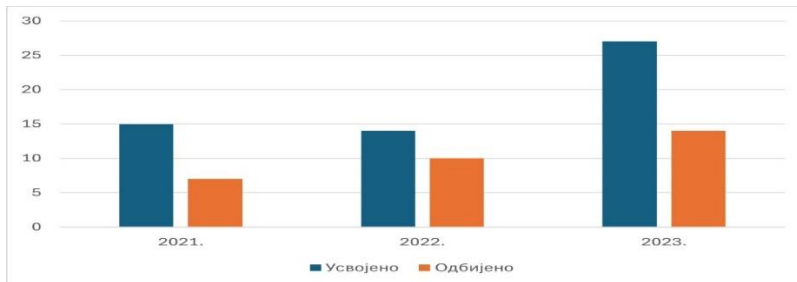
2.1. Одржавање мреже

Просечна старост водоводне и канализационе мреже у граду Крагујевцу је преко 40 година. Константна изградња стамбених објеката узоркује све већи број прикључака на мрежу, посебно у ужем градском језгру, што за последицу има раскопавање јавних површина, пре свега, улица и тротоара. Одржавање ове инфраструктуре захтева свакодневне интервенције на мрежи. ЈКП „Водовод и канализација“ Крагујевац, је у своју надлежност добило и одржавање кишне канализације у граду. Овако комплексна мрежа у редовним условима функционише без већих проблема и у складу са стандардним начином одржавања. Проблеми се најчешће јављају у време временских непогода, нарочито у време падавина јаког интензитета у кратким временским интервалима. Конфигурација терена проузоркује и различите висинске зоне и повећан број хитних интервенција на сличним локацијама. Учестали су и случајеви померања и искакања поклопаца шахтова како на тротоарима, тако и на коловозу. Поменуте околности често доводе до лакших саобраћајних незгода, које су праћене материјалном штетом, у којима учествују пре свега моторна возила, али и пешаци.

2.2. Поступак накнаде и процена штете

Поступак накнаде штете, оштећене странке покрећу Захтевом за накнаду, штете, са пратећом документацијом. Уз Захтев је неопходно приложити и податке о оштећеном лицу, затим доказе о настанку штетног догађаја, записник или уверење из полицијске управе, прочитану саобраћајну дозволу, рачун, односно профактуру за оштећене делове возила, скице или фотографије са лица места и полису осигурања, и друге доказе који могу да потврде кључне чињенице.

Уколико се захтев за накнаду штете подноси преко адвоката, неопходно је приложити и овлашћење за заступање, а по испуњености захтева, надлежна комисија у сталном саставу, коју чине лица са значајним радним и професионалним искуством из својих области, прикупља потребне податке. Комисија посебан акценат ставља на основаност захтева, односно да ли разлог настале штете има узрочно-последичну везу са делатношћу коју обавља предузеће, а утврђују се и околности које су довеле до штетног догађаја, које указују на допринос оштећеног и које би могле утицати на смањење регресног захтева према предузећу.



Графикон 1. Преглед усвојених и одбијених захтева (2021-2023. година)
Chart 1. Overview of accepted and rejected requests (2021-2023. year)

Након тога, сачињава се детаљан извештај који се подноси директору. Уколико су испуњени сви услови а надлежна комисија то предложи, врши се исплата утврђене материјалне штете и то у вредности коју комисија у складу са прикупљеним доказима предложи. У циљу обезбеђења од покретања парничног поступка, оштећени на крају поступка обавезно својеручно потписује изјаву у којој наводе да су на утврђени начин решена сва спорна питања у конкретном случају.

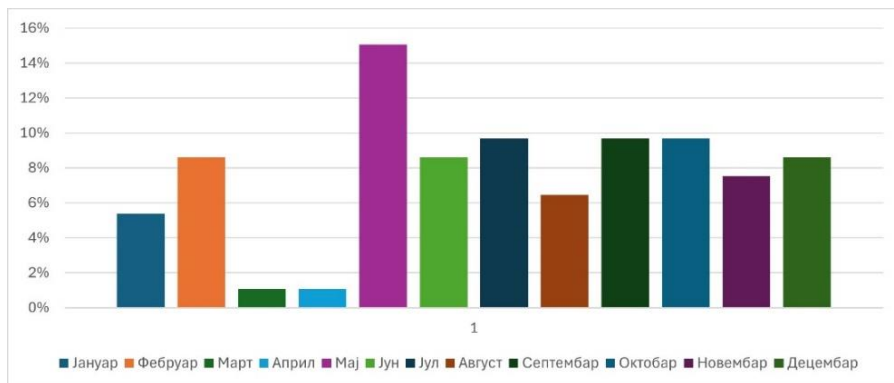
Закон о облигационим односима регулише одговорност за штету кроз девет одсека, од којих су неки кључни за разумевање вануговорне одговорности за штету. Општа одговорност за штету дефинише, ко другоме проузрокује штету дужан је исту накнадити, осим ако докаже да штета није настала његовом кривицом. За штету која потиче од ствари или делатности које представљају повећану опасност за околину, одговара се без обзира на кривицу. Ово се односи на ситуације када одређена активност или употреба ствари може директно угрозити околину или друге људе. Закон претпоставља основни облик кривице, односно обичну непажњу, осим ако друга страна докаже супротно. Ово значи да се сматра да је штета настала због непажње, осим ако се покаже да је та штета настала из неког другог разлога или због нечије намере.

Ови принципи чине основу за регулисање вануговорне одговорности за штету у Србији, чиме се штити право оштећених да буду накнадно обештећени за штету која им је нанета услед радњи или пропуста других, па се у овом случају ради о штети из делатности.

3. Анализа и резултати

Из анализе захтева за накнаду штете у протекле три године (2021-2023), у вези са проблемима у функционисању и одржавању водоводне и канализационе инфраструктуре, идентификовани су неки од најчешћих узрока штета.

Најчесталији случајеви по врсти и периоду настанка штетних догађаја су: изливање канализације, искакање или померање поклопаца шахтова, саобраћајне незгоде узроковане овим проблемима.



Графикон 2. Настанак штета по месецима за период 2021-2023. година
Graph 2. Incidence of damage in months 2021-2023

По категорији штете издваја се материјална штета на имовини (приватна и јавна), физичке повреде, саобраћајне незгоде са возилима у покрету. Када је реч периодима настанка штетних догађаја, Анализирани су штетни догађаји у свакој од година (2021, 2022, 2023. година) како би се утврдила тенденција или учесталост проблема током месеци. Циљ ове анализе је да се идентификују најчешћи узроци проблема у функционисању канализационе инфраструктуре, како би се предузеле одговарајуће мере за спречавање будућих штетних догађаја. Анализа би требало да пружи увид у приоритете у одржавању, потребу за инфраструктурним побољшањима и могуће оперативне промене ради смањења ризика од штетних догађаја посебно у периодима падавина снажног интензитета. Из ових података можемо извући неколико закључака. Сезонски утицај падавина и количина падавина у граду Крагујевцу, највећи су у мају и јуну. То може имати значајан утицај на број штетних догађаја и ситуација које се догађају у том периоду. Уочава се да је највећи број штетних догађаја и ситуација забележен управо у мају и јуну, док се мања активност дешава у другим периодима, односно месецима. Супротно томе, мање штетних догађаја примећено је у марту, априлу, новембру, децембру и јануару. Ово може бити последица мање количине падавина у тим месецима, што смањује ризик од штетних последица. Ови подаци сугеришу да постоји јасна повезаност између количине падавина и броја штетних догађаја у Крагујевцу током посматраног периода. То указује на важност праћења временских услова и њиховог утицаја на локалне штетне догађаје, ради бољег планирања и припреме за евентуалне непогоде.

4. Закључак

На основу датих информација, јасно је да одржавање водоводне и канализационе инфраструктуре у граду Крагујевцу захтева пажљиво планирање и активности усмерене на превенцију штета и очување система, па би у наредном периоду требало предузети више мера и то:

Превентивно одржавање у најкритичнијим месецима, пре свега у мају и јуну. С обзиром на висок број штета у овим месецима, неопходно је појачано чишћење и надзор над системом како би се спречили проблеми са кишном канализацијом и одвођењем отпадних вода. То укључује редовну инспекцију стања поклопаца шахтова и брзу замену оштећених, а фокус на главним саобраћајницама, будући да се већи број штетних догађаја дешава на путевима првог и другог приоритета. То може укључивати чешће инспекције, чишћење и по потреби реконструкцију система.

Праћење просечних количина падавина и броја кишних дана по месецима је важно за планирање превентивних активности. Ове информације могу помоћи у предвиђању периода с већим ризиком од проблема у канализационом систему.

Имплементација ових мера захтева координацију између надлежних градских управа задужених за одржавање инфраструктуре, предузећа, месних заједница и наравно грађана. Одржавање инфраструктуре кључно је за сигурност, здравље и удобност живота у урбаним срединама попут Крагујевца.

5. Литература

- [1] Анализа позиције ЈКП „Водоводи канализација“ Крагујевац, РСМ ADVISORY, Београд, 2021.
- [2] Одлука о снабдевању водом за пиће, пречишћавању и одвођењу отпадних вода *Службени лист града Крагујевца* бр.18/149/17, 28/18
- [3] Одлука о одређивању комуналних делатности *Службени лист града Крагујевца* бр.17/2022
- [4] Програм одржавања комуналне инфраструктуре за 2022 годину *Службени лист града Крагујевца* 40/2022
- [5] Закон о облигационим односима *Сл. лист СФРЈ*, бр. 29/78, 39/85, 45/89 - УС, 57/89, бр. 31/93, 22/99, 23/99, 35/99, 44/99 – др. пропис, бр. 18/20

O POSEBNOSTIMA I KVALITETU VODOVODNIH INSTALACIJA U STAMBENIM I KOMERCIJALNIM ZGRADAMA

ABOUT THE PECULIARITIES AND QUALITY OF PLUMBING INSTALLATIONS IN RESIDENTIAL AND COMMERCIAL BUILDINGS

ZORAN PENDIĆ¹

LARA POLAK²

BOJANA JAKOVLJEVIĆ³

ANA MILIJIĆ⁴ RAJKO PENDIĆ⁵

ZORAN DIMITRIJEVIĆ⁶ ŽELJKO MARKOVIĆ⁷

DRAGANA JOVANOVIĆ⁸ MARINA STRIŽAK⁹

Pregledni stručni rad
DOI: 10.5937/VIK24055P

Rezime: Voda za piće je strateški resurs 21. veka, pa, normalno, i Srbije. Bezbedna i kvalitetna voda za piće je vrlo važan činilac za dobro narodno (javno) zdravlje. Voda za piće može biti zagađena na izvoru, u toku prerade, na putu do potrošača ili u vodovodnim instalacijama u stambenim/kommercijalnim zgradama. Vodovodne organizacije imaju ključnu

¹ Zoran Pendić, RC Savez inženjera i tehničara Srbije, Kneza Miloša 7, Beograd, razvojni.centar@sits.rs, ORCID: 0000-0002-8320-9154

² Lara Polak, IE University (Business & Management), Madrid, larapolak400@gmail.com, ORCID: 0009-0005-0139-267X

³ Bojana Jakovljević, Telekom Srbija, Takovska 2, Beograd, bojanaja@telekom.rs, ORCID: 0009-0009-5663-2676

⁴ Ana Milijić, Ministarstvo zdravlja Republike Srbije, Nemanjina 22-26, Beograd, ana.milijic@zdravlje.gov.rs, ORCID: 0009-0005-1188-7879

⁵ Rajko Pendić, V-tim PRO, Rajka od Rasine 3, Beograd, rajko.pendic@eurosolutions.rs, ORCID: 0009-0009-2669-1464

⁶ Zoran Dimitrijević, Javno komunalno preduzeće „Vodovod“ Kraljevo, 27. marta 2, Kraljevo, dimzoran75@gmail.com, ORCID: 0009-0008-4849-6646

⁷ Željko Marković, Ekoenergetika, Sutjeska 8 55b, Beograd, zeljko.m.markovic@gmail.com, ORCID: 0009-0000-2925-159X

⁸ Dragana Jovanović, Institut za javno zdravlje Srbije „Dr Milan Jovanović Batut“, Dr Subotića Starijeg 5, Beograd, dragana_jovanovic@batut.org.rs ORCID: 0000-0001-6799-970X

⁹ Marina Strižak, JKP „Beogradski vodovod i kanalizacija“, Kneza Miloša 27, Beograd, marina.strizak@gmail.com, ORCID: 0009-0000-1414-1494

odgovornost za upravljanje rizicima koji imaju za posledicu pojave opasnosti po bezbednost i kvalitet vode za piće, a da bi obezbedile snabdevanje stanovništva bezbednom i kvalitetnom vodom za piće. Ovde treba istaći da odgovornost vodovodne organizacije važi samo do priključnog mesta na vodovodnu instalaciju stambene/komercijalne zgrade. Posebno treba istaći tešku situaciju u Srbiji sa vodovodnim instalacijama koje se ugrađuju u stambene i komercijalne zgrade, jer za ove instalacije u Srbiji ne postoji odgovarajuća zakonska regulativa. O njima odlučuju samo investitori, koji vrlo često kao izvođače vodoinstalaterskih radova angažuju nekompetentne vodoinstalaterske organizacije. Ugradnja vodovodnih cevi od neadekvatnog materijala je jedan od glavnih izvora potencijalne kontaminacije vode za piće u stambenim i komercijalnim zgradama. U radu će biti navedene osnovne razlike između vodovodnih instalacija u stambenim i komercijalnim zgradama. Takođe će biti predložena metrika, zasnovana na faktorima kvaliteta, za procenu kvaliteta vodovodnih instalacija, prvenstveno cevnog materijala, za stambene i komercijalne zgrade. Biće predloženo uvođenje znaka kvaliteta za cevni materijal, kao i obavezno sertifikovanje vodoinstalaterskih organizacija.

Ključne reči: cevi, kvalitet, metrika, stambena, komercijalna

Abstract: Drinking water is a strategic resource of the 21st century, and, naturally, of Serbia as well. Safe and high-quality drinking water is a very important factor for good national (public) health. Drinking water can be contaminated at the source, during processing, on the way to the consumer, or in water installations in residential/commercial buildings. Water supply organizations have a key responsibility for managing risks that result in the occurrence of threats to the safety and quality of drinking water, in order to ensure the supply of safe and quality drinking water to the population. It should be noted here that the responsibility of the water supply organization applies only to the point of connection to the water supply installation of the residential/commercial building. In particular, the difficult situation in Serbia with water installations that are installed in residential and commercial buildings should be highlighted, because there is no appropriate legal regulation for these installations in Serbia. Only investors decide on them, who very often hire incompetent plumbing organizations as plumbing contractors. Installation of water pipes of inadequate material is one of the main sources of potential contamination of drinking water in residential and commercial buildings. The paper will outline the basic differences between plumbing installations in residential and commercial buildings. A metric, based on quality factors, will also be proposed to assess the quality of plumbing installations, primarily pipe material, for residential and commercial buildings. It will be proposed to introduce a quality mark for pipe material, as well as mandatory certification of plumbing organizations.

Key Words: Pipes, quality, metric, residential, commercial

1. Uvod

Vodovodnu organizaciju sačinjavaju: zaposleni, inženjerski objekti (izvorište, transport sirove vode, postrojenja za prečišćavanje vode i distribicioni sistemi za razvođenje vode za piće do potrošača) i pripadajuća oprema, sa uspostavljenim odgovornostima, ovlašćenjima i odnosima [1-13]. Odgovornost vodovodne orga-

nizacije za kvalitet i bezbednost vode za piće važi samo do priključnog mesta na vodovodnu instalaciju stambene/komercijalne zgrade [14-16]. I tu leži problem, jer za kvalitet ugrađene vodovodne instalacije odgovoran je samo investitor stambene/poslovne zgrade. On je zadužen za projektovanje i izvođenje vodovodne instalacije u stambenoj/komercijalnoj zgradi. On bira vodoinstalatersku organizaciju koja izvodi radove vodovodnih instalacija u stambenoj/komercijalnoj zgradi.

U srcu svake stambene zgrade bilo koje veličine nalazi se sofisticirana vodovodna i kanalizaciona instalacija projektovana i izvedena tako da obezbeđuje nesmetano snabdevanje kvalitetnom i bezbednom vodom za piće, odvođenje otpadnih voda i zaštitu zdravlja stanara.

Ove instalacije obezbeđuju da voda za piće bešumno i neprekidno teče do svakog stana, dok se otpadne vode efikasno odstranjuju, obezbeđujući higijensko životno okruženje. Složenost ovih sistema raste sa veličinom zgrade i brojem stambenih jedinica, što za njihovo projektovanje, instalaciju i održavanje zahteva angažovanje iskusnih i profesionalnih vodoinstalaterskih organizacija i vodoinstalatera.

Trio efikasnosti u stambenim zgradama sačinjavaju: gravitacija, pritisak i ventilacija.

Gravitacija igra važnu ulogu u kretanju vode za piće i sanitarnih otpadnih voda kroz vodovodne i kanalizacione sisteme stambenih zgrada. Vodovodni sistem u zgradi predviđen za snabdevanje vodom za piće oslanja se na pumpe, ali često i na gravitaciju kako bi se obezbedilo da voda za piće stigne do svih delova zgrade, dok kanalizacioni sistem zavisi od gravitacije kako bi se otpadna voda premestila iz pojedinačnih jedinica stambene zgrade do glavnog sabirnog kanalizacionog voda priključenog na javnu kanalizaciju.

Jedan od najznačajnijih izazova u vodovodnim instalacijama u stambenim zgradama je obezbeđivanje uslova da svi stanovi, bez obzira na njihovu lokaciju u zgradi, imaju stalan i odgovarajući pritisak vode. Ovo pitanje je posebno značajno za visoke zgrade, gde razlika u nadmorskoj visini može da dovede do značajnih varijacija u pritisku vode.

Ventilacija je treći stub funkcionalnog vodovodnog i kanalizacionog sistema u stambenoj zgradi. Pravilna ventilacija osigurava da se kanalizacioni gasovi bezbedno ispuštaju van, sprečavajući da kanalizacioni gasovi uđu u stambene prostore.

Ventilacija u kanalizacionom sistemu se ne odnosi na kvalitet vazduha; radi se o tome da se obezbedi da otpadna voda može efikasno da se kreću kroz kanalizacione cevi, korišćenjem ventilacionih cevi koje omogućavaju vazduhu da uđe u kanalizacione cevi.

Komercijalne zgrade obuhvataju različite vrste objekata, kao što su poslovne zgrade, maloprodajni objekti, restorani, maloprodajni objekti, hoteli, skladišta, industrijske zgrade, bolnice i ostale zgrade za zdravstvenu zaštitu, zgrade za kulturno-umetničku delatnost i zabavu, zgrade za obrazovanje, višenamenske komercijalne zgrade... [20, 21].

Treba napomenuti da se danas sve više grade višenamenske zgrade, koje sadrže i stambene i komercijalne objekte.

Započinjanje projekta izgradnje komercijalne zgrade nosi sa sobom niz odluka, od kojih je svaka važna u oblikovanju funkcionalnosti i dugovečnosti zgrade. Jedan od ključnih zadataka je izbor adekvatnih vodovodnih i kanalizacionih instalacija. Ovaj izbor ne samo da diktira efikasnost i izdržljivost vodovodnog i kanalizacionog sistema zgrade, već utiče i na dugoročne troškove održavanja, kao i na kvalitet i bezbednost rada ovih sistema. Ono što je rečeno za vodovodne i kanalizacione instalacije stambeni zgrada važi u velikoj meri i za komercijalne zgrade, s tim što ističemo da su ove instalacije kompleksnije kod komercijalnih zgrada.

Rad će prevashodno da razmatra vodovodne instalacije u stambenim i komercijalnim zgradama. Kanalizacione instalacije će biti tema posebnog rada.

Takođe treba istaći da velika većina današnjih zgrada kod nas, bilo stambenih bilo komercijalnih ili mešovitih, neiskorišćava slobodne i raspoložive vodne resurse - kišnicu i otpadne vode koje se stvaraju unutar kanalizacionog sistema. Kišnica i otpadne vode mogu biti sakupljane i tretirane u manjim standardizovanim postrojenjima i nakon toga korišćene kao voda za piće, kupanje, pranje, ispiranje toaleta i navodnjavanje.

Korišćenje prerađene vode u samoj zgradi, pre slanja u sabirni objekat za preradu otpadnih, voda ne samo da štedi vodu, već takođe eliminiše potrebu za izgradnjom skupe infrastrukture za otpadne i atmosferske vode. Ovakva postrojenja već imaju neki hoteli u našim turističkim centrima. Ova tema takođe zahteva poseban rad.

Još jedna tema, izuzetno značajna, zahteva poseban pregledni rad: Korišćenje piko i mikro hidroelektrana u vodovodnim sistemima komercijalnih i stambenih zgrada, jer bi to dovelo do značajnih ušteda u električnoj energiji [25-30].

2. Ključne razlike između vodovodnih instalacija komercijalnih i stambenih zgrada

Kompleksnost. Vodovodni sistemi u komercijalnim zgradama su veći i složeniji od onih u stambenim zgradama. U ovim zgradama koriste se i moderne tehnologije Industrije 4,0/5.0. Npr. veštačka inteligencija (AI) može da igra značajnu ulogu u

optimizaciji potrošnje vode u komercijalnim zgradama korišćenjem inteligentnih sistema za praćenje, analizu i kontrolu potrošnje vode [31, 32].

Obim korišćenja. Obim i svakodnevna upotreba vodovodnih sistema u komercijalnim zgradama daleko premašuju onu u stambenom okruženju. Komercijalne nekretnine, kao što su hoteli ili poslovne zgrade, mogu imati veći broj korisnika (zaposleni, posetioci) koji istovremeno koriste vodovodni sistem, što dovodi do upotrebe velikih količina vode.

Ova stalna potreba za vodom zahteva da vodovodni sistemi u komercijalnim zgradama budu efikasni i sposobni da nesmetano razvedu velike količine vode za piće i odstranjuju velike količine otpadnih voda. Nasuprot tome, vodovodni sistemi u stambenim zgradama su dizajnirani za povremeno korišćenje od strane manjeg broja ljudi, što ih čini manje zahtevnim u smislu obima i kapaciteta.

Efikasnost vodovodnog sistema. Efikasnost vodovodnih sistema je kritičan faktor i u stambenim i u komercijalnim zgradama, ali je posebno važna u komercijalnim zgradama, kako bi se smanjila potrošnja vode i energije. Zato se vodovodni sistemi u komercijalnim zgradama visoko automatizovani. Međutim, ne postoje savršeni sistemi, pa tako ni vodovodni sistemi u komercijalnim i stambenim zgradama nisu savršeni i može doći do njihovog otkaza/oštećenja u svakom trenutku. Npr. začepljeno kupatilo u komšijinom stanu, iznad vašeg stana, može dovesti do velikih problema i značajnih troškova za otklanjanje posledica kvara.

U komercijalnim zgradama kvarovi mogu da imaju velike posledice na funkcionisanje poslovnih i drugih aktivnosti u ovim zgradama. Naoko mali kvarovi mogu se proširiti na čitav vodovodni sistem i izazvati velike posledice na funkcionisanje zgrade i velike finansijske gubitke. Zato se u modernim komercijalnim zgradama danas koriste savremene tehnologije za nadzor funkcionisanja vodovodnih sistema u realnom vremenu.

Verovatnoća kvarova/oštećenja. Kompleksni vodovodni sistemi u komercijalnim zgradama podložniji su kvarovima/oštećenjima u poređenju sa manje kompleksnim vodovodnim sistemima u stambenim zgradama. Štete uled kvarova/oštećenja u komercijalnim i stambenim zgradama nisu poredive. Štete u komercijalnim zgradama mogu biti katastrofalne, pogotovo ako poslovni subjekat ima radni prostor na više spratova.

Zahtevi za održavanjem. Zbog većeg obima korišćenja, vodovodni sistemi u komercijalnim zgradama zahtevaju češće održavanje i preglede kako bi se obezbedio njihov nesmetani rad.

Zdravstvena pitanja. Protok ljudi u komercijalnim zgradama je znatno veći nego u stambenim zgradama, posebno u restoranima, tako da postoji potreba da se poštuju strogi zakoni o zdravstvenoj bezbednosti, što podrazumeva da vodovodni sistemi u

komercijalnim zgradama moraju u potpunosti da zadovolje zahteve HACCP sistema u pogledu kvaliteta i bezbednosti vode za piće. Tu dolazimo do važnog zaključka da cevni materijali u vodovodnim sistemima komercijalnih zgrada moraju biti adekvatnog kvaliteta, bezbedni i duhotrajni. Zbog toga se izboru cevnog materijala za vodovodne sisteme u komercijalnim zgradama posvećuje posebna pažnja.

Detekcija curenja vode. Detekcija curenja vode iz vodovodnog sistema je kritičan aspekt i u stambenim i u komercijalnim zgradama, ali pristupi se značajno razlikuje. Vodovodni sistemi u komercijalnim zgradama često koriste napredne tehnologije za otkrivanje curenja, kao što su senzori i automatizovani sistemi za praćenje, čime se ostvaruje brza identifikacija mesta curenja. Ovi sistemi mogu otkriti čak i manja curenja pre nego što izazovu veću štetu. U stambenim zgradama, curenje vode najčešće otkrivaju i prijavljuju stanari vizualnim pregledom prostorija u stanu.

Razumevanje ključnih razlika između vodovodnih sistema u komercijalnim i stambenim zgradama je od suštinskog značaja za vlasnike nekretnina, upravnike objekata i stručnjake za održavanje. Dok obe vrste vodovoda dele osnovne principe, kompleksnost i veličina vodovodnih sistema u komercijalnim zgradama zahtevaju od vodoinstalaterskih organizacija i vodoinstalatera specijalizovana znanja, iskustvo, stručnost i redovnu periodičnu proveru i sticanje novih znanja. Vodoinstalaterske organizacije i vodoinstalateri morali bi, po pravilu, da budu sertifikovani. Pored toga, morali bi da raspoložu adekvatnom opremom i alatima.

3. Kvalitet vodovodnih cevnih instalacija u komercijalnim/stambenim zgradama

Pouzdanost funkcionisanje. Kada se gradi komercijalna zgrada, pouzdanost i pouzdanost funkcionisanje cevnog materijala i ostalih delova vodovodnog sistema predstavljaju imperativ.

Loše odabrane i instalirane cevi, ventili i drugi delovi vodovodnog sistema mogu izazvati značajne probleme u radu vodovodnog sistema. Da bi se obezbedilo pouzdanost funkcionisanje elemenata vodovodnog sistema, važno je investirati u kvalitetne vodovodne materijale koji nude vrhunske performanse i dugovečnost. Kvalitetni proizvodi minimizuju i troškove održavanja vodovodnog sistema.

Životni vek (dugovečnost). Kvalitetni vodovodni materijali su od suštinskog značaja za svaku novu komercijalnu zgradu jer obezbeđuju pouzdanost i dug životni vek vodovodnog sistema.

Pošto vodovodni sistem ima veliki uticaj na zdravlje i bezbednost zaposlenih i posetilaca komercijalne zgrade, kao i stanara stambene zgrade, korišćenje vodovodnih materijala koji su nekvalitetni, nepouzdana i nisu u skladu sa važećim

zakonskim propisima i standardima jednostavno nije opcija i mora biti sprečeno strogim inspekcijskim nadzorom.

Korišćenjem kvalitetnih i pozdanih vodovodnih materijala tokom izgradnje komercijalne/stambene zgrade obezbeđuje se duži životni vek vodovodnog sistema, njegovo lakše održavanje i minimizacija troškova održavanja. Upotreba vodoinstalatcerskih proizvoda vrhunskog kvaliteta i pouzdanosti, iako su skuplji, čini ih mnogo isplativijim na duge staze.

3.1. Višenivoska metrika za procenu kvaliteta vodovodnih cevni instalacija u komercijalnim/stambenim zgradama

Kao što je istaknuto u uvodu, odgovornost vodovodne organizacije za kvalitet i bezbednost vode za piće važi samo do priključnog mesta na vodovodnu instalaciju stambene/komercijalne zgrade [14-16].

Jasno je da od kvaliteta vodovodnih cevni instalacija, instaliranih u komercijalnim/poslovnim zgradama, u velikoj meri zavisi kvalitet i bezbednost vode za piće u vodovodnim sistemima ovih zgrada. Za kvalitet izvedene vodovodne cevne instalacije odgovoran je samo investitor stambene/poslovne zgrade. I tu leži veliki problema, jer investitori često pri gradnji komercijalnih/stambenih zgrada za poslove projektovanja, odabira i izvođenja vodovodnih cevni instalacija angažuju vodovodne organizacije koje ne raspolažu sa dovoljnim znanjem i iskustvom.

Da bi se prevazišao ovaj problem i pomogli investitorima komercijalnih/stambenih objekata predložemo metodologiju, baziranu na višenivoskoj metrici, za procenu kvaliteta vodovodnih cevni instalacija koje treba izvesti u komercijalnoj/poslovnoj zgradi.

Metodologija je detaljno opisana u literaturi [12, 13]. U ovom radu ćemo dati samo dopune neophodne za primenu ove metodologije za izbor kvalitetnih vodovodnih cevni instalacija za komercijalne/stambene zgrade.

3.1.1. Najčešći tipovi vodovodnih cevi – prednosti i nedostaci (za i protiv)

U tabeli 1 navedene su prednosti (za) i nedostaci (protiv) najčešće korišćenih cevi u vodovodnim i kanizacionim sistemima u komercijalnim/stambenim zgradama. Tabela sačinjena na osnovu podataka iz literature [33-47, 50].

Spektar opasnosti od vodovodnih cevi. Vodovodne cevi mogu biti napravljene od bakra ili raznih plastičnih materijala, a svaka ima prednosti i nedostatke vezano za ljudsko zdravlje i životnu sredinu.

U proizvodnji plastičnih cevi koristi se više hemikalija nego u proizvodnji metalne cevi, pri čemu neke od ovih hemikalija mogu da dospeju u vodu za piće i da je kontaminiraju [36].

Tabela 1. Prednosti i nedostaci vodovodnih cevi u komercijalnim/stambenim zgradama
Table 1. Advantages and Disadvantages of Commercial/Residential Plumbing

Materijal cevi	Prednosti (Za)	Nedostaci (Protiv)
Bakarne cevi	Dug životni vek (i do 100 godina, najmanje 50 godina) Otporne na koroziju Zdravstveno bezbedne Mogu da se recikliraju Pogodne i za toplu i za hladnu vodu (Temperaturno tolerantne)	Skuplje od drugih opcija Mogu da korodiraju u određenim okruženjima Zahtevaju profesionalne vodoinstalater Ne smatraju se „zelenim“ proizvodom Izbegavajte korišćenje bakarnih cevi ako vaš vodovod obično ima nizak pH (<6,5). Trebalo izbegavati korišćenje bakarnih cevi ako voda za piće u vodovodu ima nizak pH (<6,5)
Pocinkovane čelične cevi (Retko se koriste u novim instalacijama)	Otporne na koroziju Sposobnost da izdrži velika opterećenja Laka ugradnja	Relativno kratak životni vek (20 do 50 godina) Česta pojava rđe. Nakupi se tokom vremena i može da se odvoji od unutrašnjih zidova cevi i da kontaminira vodu Mogućnost kontaminacije olovom, usled korozije Mogućnost pojave zatepljenja, koja blokiraju protok vode Ranjivost usled oštećenja galvanizacije, što izaziva brzu koroziju cevi
Cevi od polivinil hlorida (PVC)	Dug životni vek Otporne na koroziju i rđu Mogu da izdrže visok pritisak vode Pogodne za instalaciju Cenovno su pristupačne (jeftinije su od bakarnih i drugih metalnih cevi) Idealne za transport hladne vode	Podložne su savijanju pri transportu tople vode Mogući problemi sa dimenzijama cevi. Čak i ako su PVC cevi odgovarajuće dimenzije, fitinzi koji povezuju cevi mogu biti previše veliki za uske prostore.
Cevi od hlorovanog polivinilhlorida (PVC-C)	Dug životni vek (praktično neograničen) Otporne na koroziju i rđu Mogu da izdrže visok pritisak vode Pogodne za instalaciju Cenovno su pristupačne (jeftinije su od bakarnih i drugih metalnih cevi) Temperaturno su tolerantne. PVC-C može da izdrži i temperature do blizu 100°C.	Samo su za unutrašnju instalaciju. Mogu da otkazu ako su izložene sunčevoj svetlosti u dužem vremenskoj periodu Skuplje su od PVC cevi

Materijal cevi	Prednosti (Za)	Nedostaci (Protiv)
Umrežene polietilenske cevi (PEKS, PEX)	Dug životni vek (praktično neograničen) Potpuno otporne na koroziju i rđu Otporne na kamenac i hlor Fleksibilne su i pogodne za instalaciju Idealne za naknadnu ugradnju i uske prostore Pogodne i za hladnu i za toplu vodu (temperaturno tolerantne) Cenovno su pristupačne (jeftinije su od bakarnih i drugih metalnih cevi)	Ne mogu da se recikliraju Samo su za unutrašnju instalaciju. UV zračenje može oštetiti PEKS cevi, čineći ih neprikladnim za spoljašnju upotrebu Neke vrste PEKS cevi utiču na ukus i miris vode za piće, posebno ako je voda stajala u cevima neko vreme Potrebni posebni fitinzi i alati za ugradnju Skuplje su od PVC cevi
Cevi od nerđajućeg čelika	Dug životni vek Izuzetno otporne na koroziju (poželjan su izbor u zgradama koje su pored mora/velikih reka)	Skuplje su od bakarnih cevi
Duktilne cevi	Dug životni vek Dobra mehanička svojstva Dobra hidraulična svojstva Otporne na koroziju Velika otpornost na spoljno opterećenje Ekološki prihvatljive	Koriste se samo u kanalizacionim sistemima Podložne koroziji nakon duže upotrebe Zahtevaju angažovanje profesionalnih vodoinstalatera Troškovi životnog veka niži nego kod cevi od nerđajućeg čelika

U tabeli 2 rangirane su vodovodne cevi po stepenu zdravstvene opasnosti, od najmanje ka najvišoj.

Tabela 2. Spektar zdravstvenih opasnosti od vodovodnih cevi [36]

Table 2. The spectrum of health hazards from water pipes [36]

Bakarne cevi (spojene bez lemov)
Polipropilenske cevi (PP)
Cevi od polietilena visoke gustine (HDPE)
Umrežene polietilenske cevi (PEKS, PEX)
Bakarne cevi (spojene lemovima)
Cevi od polivinil hlorida (PVC)
Cevi od hlorovanog polivinilhlorida (PVC-C)

Pređimo sada na višenivosku metriku za procenu kvaliteta vodovodnih cevni instalacija u komercijalnim/stambenim zgradama. Kao što smo rekli, metodologija je detaljno opisana u literaturi [12, 13]. Osnovni objekat koji posmatramo je vodovodna cevna instalacija u konkretnoj komercijalnoj/stambenoj zgradi. Procena kvaliteta ovog osnovnog objekta (OO) se vrši u skladu sa hijerarhijskim modelom koji se sastoji od tri nivoa: (i) najviši nivo čine faktori kvaliteta (FK), (ii) srednji nivo čine kriterijumi kvaliteta koji opisuju tražena svojstva objekta radi ispunjavanja faktora

kvaliteta, i (iii) najniži nivo sadrži metriku kvaliteta (npr. zahtevi, pitanja, kvantitativni odnosi, itd.) [12, 13]. Korišćenjem tabela 1 i 2, kao i reference 12, 13, možemo da definišemo faktore kvaliteta za posmatrani OO (tabela 3).

Tabela 3. Definicije faktora kvaliteta za OO: vodovodna cevna instalacija

Table 3. Definitions of quality factors for BO: water pipe installation

Faktor kvaliteta	Predlog definicije
FK1 Pouzdanost	Sposobnost OO da izvrši svoju osnovnu funkciju: razvođenje vode za piće do svih točećih mesta u zgradi
FK2 Pogodnost za instalaciju	Mera kojom se utvrđuje pogodnost za jednostavnu i pouzdanu instalaciju vodovodnih cevi
FK3 Pogodnost za podešavanje	Mera za procenu pogodnosti za podešavanje cevi pri ugradnji u u vodovodni sistem zgrade
FK4 Pogodnost za povezivanje	Mera procene pogodnosti za spajanje cevi u vodovodnoj instalaciji zgrade
FK5 Zdravstvena pogodnost	Cevi koje se koriste u vodovodnoj cevnoj instalaciji ne smeju da kontaminiraju vodu i moraju da zadovoljavaju zdravstvene standarde
FK6 Pogodnost za održavanje	Rad potreban da se uoči i ispravi greška u vodovodnoj cevnoj instalaciji zgrade
FK7 Otpornost na fizičke i hemijske uticaje	Mera procene otpornosti cevi koje se koriste u vodovodnoj cevnoj instalaciji zgrade na moguće fizičke i hemijske uticaje sredine u kojoj se nalaze, kao i moguće fizičke i hemijske uticaje vode koja se transportuje (otpornost na koroziju, temperaturna tolerantnost, otpornost na UV zračenje...)
FK8 Pogodnost za testiranje fizičkih i hemijskih karakteristika	Mera procene mogućnosti ispitivanja funkcija cevi koje se koriste u vodovodnoj cevnoj instalaciji zgrade kako bi se utvrdila njihova pogodnost za planiranu primenu
FK 9 Dugotrajnost	Procena životnog veka cevi koje se koriste u vodovodnoj cevnoj instalaciji zgrade
FK 10 Usaglašenost sa standardima	Mera procene zadovoljenja određenih standarda koji važe za cevi koje se koriste u vodovodnoj cevnoj instalaciji zgrade
FK 11 Ekološka prihvatljivost	Mera za procenu ekološke prihvatljivosti cevi koje se koriste u vodovodnoj cevnoj instalaciji zgrade (mogućnost reciklaže, ekološki održiva proizvodnja cevi...)
FK12 Konkurentnost	Mera za za procenu konkurentnosti ponuđača cevi pri nabavci cevi (nabavna cena, procena troškova instalacije i održavanja, životni vek i pouzdanost, usaglašenost sa zdravstvenim standardima, pogodnost za instalaciju i održavanje, posedovanje validnog znaka kvaliteta)
FK13 Pogodnost za ocenjivanje	Mera za procenu dovoljnog skupa podataka za ocenjivanje bitnih karakteristika cevi koje se koriste u vodovodnoj cevnoj instalaciji zgrade u pogledu kvaliteta i bezbednosti
FK14 Posedovanje validnog znaka kvaliteta	Provera kompetentnosti organizacije koja izdaje znak kvaliteta za ispitivane cevi
FK15 Cenovna pristupačnost	Odnos kvalitet/cena za cevi koje nude ponuđači

Sledeći nivo za određivanje zahteva u odnosu na kvalitet vodovodne cevne instalacije je prelazak sa faktora kvaliteta na kriterijume kvaliteta. Npr. kriterijumi kvaliteta za faktor kvaliteta Pogodnost za održavanje mogu biti: pogodnost za ažuriranje, snabdevenost rezervnim delovima, pogodnost za merenje, dokumentovanost, jednostavnost, samoopisnost, standardnost, konzistentnost, modularnost.

Sledeći, najniži nivo metrike, sadrži metriku kvaliteta (npr. zahtevi, pitanja, kvantitativni odnosi, itd.) i služi za ispitivanje kriterijuma kvaliteta koji opisuju faktore kvaliteta vodovodne cevne instalacije. Npr. pitanje može da bude: Da li voda za piće ima pH <6,5? Ako ima onda treba izbeći upotrebu bakarnih cevi. Metrika daje kvantitativne ocene kriterijuma kvaliteta, kao osnovu za procenu faktora kvaliteta razmatranog osnovnog objekta.

Ovde posebno želimo da ukažemo na značaj FK14 posedovanje validnog znaka kvaliteta. Kod nas je situacija na tržištu proizvoda koji se koriste u VS haotična. Često se nabavljaju proizvodi koji ne zadovoljavaju ni osnovne kriterijume kvaliteta [9]. Zbog toga je od izuzetne važnosti da se u Srbiji donesu obavezujući propisi da vodovodne organizacije mogu da nabavljaju proizvode koji se koriste u vodovodnim sistemima u komercijalnim/stambenim zgradama sa verifikovanim znakom kvaliteta, kao što se to radi u npr. u Austiji, Finskoj, Nemačkoj, Holandiji, Hrvatskoj... [9, 53]. Normalno, cevni proizvodi moraju da zadovoljavaju i odgovarajuće standarde [51, 52].

Posebno je u Srbiji teška situacija sa vodovodnim instalacijama koje se ugrađuju u stambene i poslovne objekte, jer o njima odlučuje samo investitor. Odgovornost vodovodne organizacije važi samo do priključnog mesta na vodovodnu instalaciju stambenog/poslovnog objekta.

Posebno treba istaći tešku situaciju u Srbiji sa vodovodnim instalacijama koje se ugrađuju u stambene i komercijalne zgrade, jer za ove instalacije u Srbiji ne postoji odgovarajuća zakonska regulativa. O njima odlučuju samo investitori, koji vrlo često kao izvođače vodoinstalaterskih radova angažuju nekompetentne vodoinstalaterske organizacije. Ugradnja vodovodnih cevi od neadekvatnog materijala je jedan od glavnih izvora potencijalne kontaminacije vode za piće u stambenim i komercijalnim zgradama.

4. Zaključak

Posebno je u Srbiji teška situacija sa vodovodnim instalacijama u komercijalnim i stambenim zgradama, jer o njima odlučuje samo investitor. Odgovornost vodovodne organizacije važi samo do priključnog mesta na vodovodnu instalaciju komercijalne/stambene zgrade.

Pored toga, vodoinstalaterske organizacije moraju biti sertifikovane, jer od iskustva i znanja njihovih zaposlenih u velikoj meri zavisi kvalitet i bezbednost

instaliranih vodovodnih instalacija u komercijalnim/stambenim zgradama. Vodoinstalateri u ovim organizacijama moraju stalno da inoviraju svoja znanja jer se danas koriste moderne tehnologije pri izvođenju vodovodnih instalacija u komercijalnim/stambenim zgradama.

Zbog toga predlažemo da se u sve vodovodne sisteme moraju ugrađivati samo vodovodni proizvodi koji zadovoljavaju odgovarajuće standarde i poseduju verifikovan znak kvaliteta.

5. Literatura

- [1] Pendić Z i dr. Primena Codex Alimentarius HACCP sistema u vodovodnim organizacijama radi snabdevanja stanovništva bezbednom pijaćom vodom, *Tehnika*, Vol. 66, No. 5, str. 865-870, SITS, 2011.
- [2] Pendić Z, Lačnjevac Č, Tašin B, Polak S, Jovanović Lj, Milivojević Z, Pendić R, Reljić Ćuric V. Predlog metodologije za primenu generalisanog HACCP sistema u vodovodnim organizacijama, *Tehnika*, Vol. 67, br. 4, str. 659-664, SITS, 2012.
- [3] Pendić Z, Lačnjevac Č (Urednici). *Metodologija projektovanja i uspostavljanja generalizovanog HACCP sistema u vodovodnim organizacijama*, PRIRUČNIK, Verzija 0.2, Izdavač: Savez inženjera i tehničara Srbije, 207 str, avgust 2013.
- [4] Pendić Z, Lačnjevac Č, Marković Ž, Jovanović Lj, Makuc Z, Pendić R, Čosović O. Zašto je potrebno uspostaviti generalizovani HACCP sistem u vodovodnim organizacijama?, u Zborniku radova 34. *Međunarodnog stručno-naučnog skupa Vodovod i kanalizacija '13*, Tara, Srbija, str. 124-132, SITS, 15-18. oktobar 2013.
- [5] Pendić Z i dr. Obaveze i zadaci u postupku prijema Srbije u EU koji se odnose na kvalitet i bezbednost vode za piće i upravljanje otpadnim vodama, u Zborniku radova 35. *Međunarodnog stručno-naučnog skupa Vodovod i kanalizacija '14*", Kladovo, Srbija, str. 238-246, SITS, 07-10.10.2014.
- [6] Pendić Z i dr. Obaveze i zadaci lokalne samouprave i OCD u zaštiti životne sredine u postupku prijema Srbije u EU – Primer zaštite izvorišta vode za piće, *Tehnika*, No. 6, str. 1075-1079, SITS, 2014.
- [7] Pendić Z, Lačnjevac Č, Jovanović D, Jovanović Lj, Makuc Z, Mioljević V, Beriša H, Zlatanović Tomašević V. Održivi razvoj i voda – kako sačuvati resurse i povisiti bezbednost i kvalitet vode za piće, u Zborniku radova 36. *Međunarodnog stručno-naučnog skupa Vodovod i kanalizacija '15*, Vršac, Srbija, str. 262-275, SITS, 13-16. oktobar 2015.
- [8] Strizak M, Kolarović D, Pendić Z, Jakovljević B, Makuc Z, Lačnjevac Č, Urošević S, Jovanović Lj, Jovanović D. Terorističke pretnje vodovodnim sistemima i pristupi njihovoj zaštiti, u Zbornik radova 37. *Međunarodnog stručno-naučnog skupa Vodovod i kanalizacija '16*, Vrdnik, Srbija, str. 348-357, SITS, 11-14. oktobar 2016.

- [9] Dimitrijević Z. M. Potreba za neprekidnim praćenjem kvaliteta proizvoda u vodosnabdevanju sa osvrtom na iskustva iz Austrije, *Tehnika*, Vol. 72, No. 4, str. 617-620, SITS, 2017.
- [10] Pendić Z i dr. Šta pojam VODA 4.0 znači za javna komunalna preduzeća koja se bave vodovodom?, u Zborniku radova 42. *Međunarodnog stručno-naučnog skupa Vodovod i kanalizacija '21*, Vrnjačka Banja, Srbija, str. 124-137, SITS, 12-15.10.2021.
- [11] Пендић З и др. Паметна (дигитална) вода за пиће за паметни (дигитални) град, У Зборнику радова XIV *Научно-стручне конференције са међународним учешћем Паметни градови и интеграција технологија Четврте индустријске револуције 4.0*, Београд, стр. 132-144, 27. мај 2022.
- [12] Pendić Z, Polak L i dr. O kvalitetu i bezbednosti vodovodnih sistema sa posebnim osvrtom na kvalitet cevi, u Zborniku radova 44. *Međunarodne konferencije Vodovod i kanalizacija '23*, Zlatibor, Srbija, str. 113-125, SITS, 10-13.10.2023.
- [13] Пендић З, Полак Л и др. Један приступ оцењивању квалитета сложених система/опреме, У Зборнику радова XVI *Научно-стручне конференције са међународним учешћем Еколошко инжењерство – место и улога, стање и будући развој*, Београд, стр. 116-1120, 24. мај 2024.
- [14] Pravilnik o uslovima i normativima za projektovanje stambenih zgrada i stanova, *Sl. glasnik RS*, br. 58/2012, 74/2015 i 82/2015.
- [15] Zakon o planiranju i izgradnji, *Sl. glasnik RS*, br. 72/2009, 81/2009 - ispr., 64/2010 - odluka US, 24/2011, 121/2012, 42/2013 - odluka US, 50/2013 - odluka US, 98/2013 - odluka US, 132/2014, 145/2014, 83/2018, 31/2019, 37/2019 - dr. zakon, 9/2020, 52/2021 i 62/2023
- [16] Odluka o prečišćavanju i distribuciji vode, *Sl. list grada Beograda*, br. 23/2005, 2/2011, 29/2014, 19/2017, 74/2019 i 4/2022.
- [17] Scott Vincent. How Plumbing Works In An Apartment Building, *On Services*, Melbourne, February 28, 2024.
- [18] Gurmu A, Mudiyansele PW. Plumbing defects in residential buildings: analysis of anomalies and their causes, *Facilities*, Vol. 41, No. 13/14, pp. 927-956, 2023.
- [19] The Most Common Commercial Plumbing Problems, *HVAC & plumbing*, July 16, 2019.
- [20] INDEED Editorial Team. Commercial Buildings: Definition, Types and Tips, *INDEED*, Updated August 16, 2024.
- [21] Pravilnik o klasifikaciji objekata, *Sl. glasnik RS*, br. 22/2015.
- [22] Hensley K. Major Differences Between Commercial and Residential Plumbing, 1-Tom-Plumber, July 28, 2023.

- [23] Commercial Plumbing vs Domestic Plumbing – The Differences, *Robinsons Facilities Services*, March 27th, 2024, Last updated: June 25th, 2024.
- [24] Spot the difference: domestic plumbing vs. commercial plumbing, *Watermaster Plumbing*, Melbourne.
- [25] Conić I. Grad koji se napaja strujom povlačenjem vode u toaletu, *Gradnja*, 19.06.2015.
- [26] Generating electricity by flushing water like in a toilet, *Interesting Engineering*
- [27] Can your toilet generate electricity?, *Energy Saving Trust*, Blog Post. 4 July 2019, Updated 3 November 2020.
- [28] Suman R et al. Electricity Generation Through Water Supply Pipes in High Rise Buildings, *Journal of Industrial Integration and Management*, Vol. 06, No. 04, pp. 449-468, 2021.
- [29] Kowalska B et al. The concept of using energy generated by water flowing in pipes to power devices monitoring the water supply network, *Proceedings of the 3 International Conference on Design, Construction, Maintenance, Monitoring and Control of Urban Water Systems*, WIT Transactions on The Built Environment, Vol. 165, WIT Press, 2016.
- [30] Newton E. How Much Energy Can Hydro Turbines In Water Pipes Generate?, *Water Online*, March 7, 2024.
- [31] Prasad A. Role of A. I.- Future of water management of commercial buildings, *LinkedIn*, June 26, 2023.
- [32] 5 efficient ways for commercial water management, *Smart Flow*, <https://www.smartflowmonitoring.com/water-management/>
- [33] The Importance of Quality Plumbing Supplies in Building Construction, *Maverick Supply*, <https://www.mavericksupplyinc.com/the-importance-of-quality-plumbing-supplies-in-building-construction>
- [34] The Different Types of Plumbing Pipes Used In Commercial Buildings, *eSUB*, September 17, 2020, <https://esub.com/blog/the-different-types-of-plumbing-pipes-used-in-commercial-buildings/>
- [35] The Pros and Cons of Different Types of Plumbing Pipes, *Mr. Rooter Plumbing*, <https://www.mrrooter.com/greater-syracuse/about-us/blog/2019/july/the-pros-and-cons-of-different-types-of-plumbing/>
- [36] What to Know When Selecting Water Pipes, *INFORMED*, Oct 27, 2021, [Internet], <https://informed.habitablefuture.org/resources/news/114-what-to-know-when-selecting-water-pipes>
- [37] Šta je razlika između PE cijevi, PVC cijevi, PP cijevi i PB cijevi?, *Shandong Kangyu Pipe Industry*, Jan 20, 2018, <https://ba.cnkangyupipe.com/news/what-is-the-difference-between-pe-pipe-pvc-pi-12220920.html>

- [38] Advantages and Disadvantages of Ductile Iron Pipes Compared with Other Pipes, *Permanent Steel Manufacturing Co.* <https://www.permanentsteel.com/news-show/advantages-and-disadvantages-of-ductile-iron-pipes-compared-with-other-pipes.html>
- [39] Ductile Iron Pipe vs Steel Pipe: A Comprehensive Comparison for Plumbing Professionals, *Metleader*, April 18, 2024, <https://mlpiping.com/ductileironpipe-vssteelpipe/>
- [40] Wei X. *Research on the selection of pipe materials for water supply and drainage*, 3p, E3S Web of Conferences 23 6, 02031, 2021.
- [41] Nesterchuk R. *Determining the most suitable material for water pipes*, Bachelor's Thesis, Mikkeli University of Applied Sciences, 55 p., January 2013.
- [42] Abdulah Shrrat Omar O. Evaluation of Pipe Materials in Water System Networks Using the Theory of Advanced Multi-Criteria Analysis, 21 p., *Sustainability* 2023, 15, 4491, 2023.
- [43] Types of Pipe Material and Their Selection, PipingMart (Indian Steel, Metal & Piping Business), September 19, 2022, <https://-blog.-the-pipingmart.com/other/types-of-pipe-material-and-their-selection/>
- [44] Reeves R, Wheat Ph. Choosing the Right Pipe Material, WaterWorld, <https://www.waterworld.com/drinking-water/distribution/-article/-16190949/choosing-the-right-pipe-material>
- [45] Team Kataria Pipes, Seven Qualities You Should Look For in a Plumbing Pipe, August 17, 2021, <https://katariaplastics.com/seven-qualities-you-should-look-for-in-a-plumbing-pipe/>
- [46] *Materials coming into contact with drinking water – What to watch out for? – At home*, European Commission, Directorate-General for Environment, 2017, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/-02a-bab85-148d-11e9-81b4-01aa75ed71a1>
- [47] What are Pipes and Piping materials?, THE PIPING MART, September 19, 2022, <https://blog.thepipingmart.com/other/types-of-pipe-material-and-their-selection/>
- [48] Извештај о здравственој исправности воде за пиће јавних водовода и водних објеката у Републици Србији за 2022. годину, Институт за јавно здравље Србије „Др Милан Јовановић БАТУТ“, 37 страна, Београд, 2023.
- [49] Извештај о стању животне средине у Републици Србији за 2022. годину, Министарство заштите животне средине Републике Србије, Агенција за заштиту животне средине, 206 страна, Београд, 2023.
- [50] Potable Water Piping Product Guidance, Informed, Last updated: April 25, 2023, <https://informed.habitablefuture.org/product-guidance/13-water-pipes>
- [51] 91.140.60 Water supply systems Including water meters in buildings, ISO, <https://www.iso.org/ics/91.140.60/x/>

- [52] NSF/ANSI 61 – 2016 International Standard/American National Standard for Drinking Water Additives: Drinking water system components — Health effects, NSF International
- [53] FI Mark Drinking Water Approval, Kiwa Inspecta Finland, [Internet], Dostupno na: <https://www.kiwa.com/en/service2/certification/fi-mark-drinking-water-approval/>

ВОДОВОДНИ СИСТЕМИ И ЦИРКУЛАРНА ЕКОНОМИЈА

WATER SUPPLY SYSTEMS AND CIRCULAR ECONOMY

ГОРАН ОРАШАНИН¹

БУДИМИРКА МАРИНОВИЋ²

Прегледни стручни рад

DOI: 10.5937/VIK240710

Резиме: Примјена циркуларне економије у водоводним системима се у последње вријеме све више истражује. Врше се конкретни експерименти као и практична примјена у индустрији са циљем уштеде трошкова, производње енергије те производње материје и енергије из процеса третмана отпадних вода. С тим у вези, овај рад има за циљ да идентификује неке од мјера које водоводна предузећа могу предузимати у циљу одрживости и смањења утицаја на животну средину. У раду је дат кратак преглед могућности водоводног предузећа крод дјеловање на воду, материју и енергију.

Кључне речи: водоводни системи, циркуларна економија, смањење загађења

Abstract: The application of circular economy principles in water supply systems has been increasingly studied recently. Concrete experiments and practical implementations in the industry are being carried out with the aim of cost savings, energy production, and material and energy recovery from wastewater treatment processes. In this context, the aim of this paper is to identify some measures that water utilities can take to enhance sustainability and reduce environmental impact. The paper provides a brief overview of the opportunities for water utilities to act on water, materials, and energy.

Key Words: Water supply systems, Circular economy, Pollution reduction

¹ Горан Орашанин, Универзитет у Источном Сарајеву, Машински факултет, Вука Караџића 30, Источно Сарајево, Босна и Херцеговина, goran.orasanin@ues.re.ba, ORCID: 0000-0002-1513-3645

² Будимирка Мариновић, Универзитет у Источном Сарајеву, Факултет за производњу и менаџмент, Војводе Степе Степановића бб, Требиње, Босна и Херцеговина, budimirka.marinovic@fpm.ues.rs.ba, ORCID: 0000-0001-5509-0056

1. Увод

Традиционални економски модел који се још увијек нашироко примјењује је линеарна економија. Овај модел функционише по принципу „узми, направи, искористи, одбаци“. Дакле, линеарна економија је заснована на принципу производње производа, коришћења и елиминације искористишеног производа као отпада [1].

Циркуларна економија представља одрживији приступ са максималним искориштавањем ресурса кроз њихов поновни циклус у економском и експлоатационом систему. У моделу циркуларне економије, производи, материјали и ресурси се задржавају у употреби што је дуже могуће кроз рециклажу, обнову и поновну употребу.

Значај циркуларне економије се огледа у томе што је она модел за превазилажење линеарног модела производње и има за циљ повећање ефикасности коришћења ресурса. Трансформација из линеарне ка циркуларној економији последњих година постаје важно питање у области управљања и заштите животне средине [2].

Управљање водом и отпадним водама је један од највећих изазова за циркуларну економију, јер многе врсте индустрија зависе од воде и ограничен приступ ресурсима чисте воде може утицати на производне капацитете и профит привреде [2]. Са аспекта циркуларне економије сектор вода све више постаје поље конкретног експериментисања и примјена техника у сврху уштеде ресурса, производње енергије и добара.

Систем који се састоји од снабдијевања питком водом, прикупљања и пречишћавања отпадних вода те испуштања (према законским прописима) у реципијент, сам по себи је примјер циркуларне економије [3]. Дакле, водни ресурс прикупљен из извора снабдијевања (површинска вода, извор) се враћа назад у животну средину након што се користи за људске и индустријске потребе и пречисти од контаминације која произилази из ових употреба.

Пошто водоводна предузећа сама по себи примјењују принцип циркуларне економије, као такви требају да постану иницијатори преласка на циркуларни модел и да имају израженију улогу у управљању ресурсима. Водоводна предузећа требају да постану покретачи промјена са линеарног на кружни економски модел.

Потписивањем зелене агенде (Зелени план) земље Западног Балкана су се обавезале да ће спроводити пет стубова овог плана и то [4] клима, енергетика, мобилност; циркуларна економија; смањење загађења; одржива пољопривредна и прехранбена производња и биодиверзитет.

С тим у вези, овај рад приказује могуће путеве дјеловања водоводних предузећа узимајући у обзир воду, материју и енергију.

2. Принципи циркуларне економије

Прелазак на циркуларну економију за водоводна предузећа подразумијева спремност приступању другачијег вида пословања, изискује проактивност у тражењу нових приступа управљања, развија партнерстава са другим организацијама, као и стварање нових пословних прилика.

Неопходно је нагласити да се преласком на модел циркуларне економије превазилазе конвенционалне административне, политичке и географске границе, што подразумијева и широк ангажман и партнерски приступ са новим интересним странама које могу учествовати у интегрисаном управљању водама. С тим у вези, неопходни су подстицаји за иновације у сектору вода које ће се базирати на ефикаснијем коришћењу ресурса, не само унутар водоводног система него и шире.

Три принципа модела циркуларне економије:

- Обновити природни капитал,
- Задржати ресурсе у употреби и
- Пројектовати ефекат отпада

треба процијенити пратећи токове воде, енергије и материјала.

Ова три принципа указују на захтјев системског приступа интегрисаног управљања водама и то [5]

- Обновити природни капитал је принцип који треба да обезбједи функционалне еколошке токове, смањење антропогеног коришћења воде, очување и унапређење екосистема и обезбјеђење минималних поремећаја насталих људским коришћењем.
- Задржати ресурс у употреби је принцип затварања петље у коришћењу воде, енергије и материјала везаних за воду унутар система.
- Пројектовати ефекат отпада је принцип смањења отпада, а настали отпад треба да има своју екстерну употребу и вриједност.

Дакле примјена принципа циркуларне економије има утемељење у одрживости коришћења воде, коришћење обновљивих материјала тамо гдје је могуће, обезбјеђивање енергије обновљивим изворима, очување природе и њено унапређење, а отпад и негативни утицаји се пројектују и предвиђају [6].

Међународна организација за воде IWA [7] је дала препоруке у правцима

кретања водоводних предузећа који се у последње вријеме разрађују, како кроз бројне научне радове, тако и у пракси.

3. Вода, материја и енергија

Интегрисано управљање водним ресурсима омогућено је бројним спољашњим и унутрашњим факторима. С тим у вези, важно је идентификовати и реаговати на те факторе. Водоводна предузећа управљају водом од водозавхвата до потрошача, те од потрошача до реципијента.

Прелазак на циркуларну економију треба да узме у обзир производњу и потрошњу воде, стварајући синергију унутар циклуса кретања воде, ради што ефикаснијег управљање водом и повезивања са секторима који су изван система водоснабдијевања. На том кретању постоје тачке гдје се вода, енергија или материјали укрштају и те тачке могу пружити прилике за анализе и дјеловања водоводних предузећа, за стварање партнерства са другим секторима за прелазак на циркуларну економију.

3.1. Систем водоснабдијевања

Као први аспект водоснабдијевања потрошача је природно окружење, односно сливови изворишта. Природно окружење у пружању услуга водоснабдијевања је добро схваћено и засновано је на зонама заштите изворишта. Међутим код неких изворишта анализом воде могу се пронаћи и неки од загађивача воде који не би требали бити у сировој води, ако су водозаштитне зоне правилно дефинисане, што указује на недостатке у овом аспекту.

Постројења за пречишћавање сирове воде, односно воде за пиће захтијевају јасно дефинисан први аспект, јер природно окружење има значајан потенцијал да умањи потребу за обрадом сирове воде, што може довести до значајних уштеда (енергије, материјала).

Велики потрошачи воде се могу класификовати као потрошачи из домаћинства, привреде и пољопривреде. Потрошња у домаћинствима у значајној мјери зависи од понашања грађана и њихове перцепције воде и водоснабдијевања. Информисање грађана о значају воде и њиховој улози у интегралном управљању водним ресурсима може подржати интеграцију воде у свим другим секторима.

Индустрија је велики корисник и велики загађивач воде. Синергија између водоводног предузећа и индустрије треба да доведе до проналажења начина за смањење водног отиска производа које производе и да на тај начин минимизирају деградацију животне средине. Пољопривреда је такође велики корисник и загађивач воде. С тим у вези, водоводни системи кроз свој циклус

кретања воде могу тражити алтернативна рјешења обезбјеђења воде за пољопривреду.

Постројења за третман отпадних вода су постројења која се уклапају у модел циркуларне економије. Тренутни приступ уклањању загађивача из отпадне воде треба да се промијени у правцу производње ресурса, генерисања енергије и поновне употребе воде кроз рециклирање (нпр. за индустрију, пољопривреду).

Да би се осигурало уредно водоснабдијевање водоводни системи троше велике количине енергије. Поред тога, водоводни системи су зависни од енергетског сектора и у великој мјери се снабдијевају енергијом произведеном из фосилних горива. С тим у вези, водоводна предузећа могу у сарадњи са енергетским сектором да дају допринос производњи енергије из обновљивих извора.

Вода

Већина водоводних система је неефикасна. Од тренутка када вода улази у систем, преко дистрибуције до потрошача, па све до њеног испуштања у реципијенте, вода се губи, загађује, расипа и злоупотребљава. Такав тренд може довести до повремених, па чак и сталних несташица воде и у срединама које имају довољне количине. У вези с тим, водоводна предузећа треба да обрате пажњу на следеће мјере:

- Смањење потрошње воде на нивоу домаћинства: Ово смањује потребу за производњом питке воде. Иако водоводна предузећа не могу директно утицати на овај фактор, могу покренути кампање о важности уштеде воде како би подстакла смањење потрошње.
- Губици воде: Губици воде су евидентни у већини водоводних система. Водоводна предузећа морају активније да се баве овим проблемом. Осим што губици воде узрокују несташицу, предузећа губе средства која су уложена у третман сирове воде и трошкове енергије.
- Поновна употребе воде: Ово се посебно односи на пољопривредне и индустријске дјелатности. Поновна употреба подразумјева коришћење третиране отпадне воде, која се може користити у индустрији и пољопривреди, јер њени квалитетни захтјеви нису исти као за питку воду. Вода која се користи за хлађење, испирање и мијешање у индустријским процесима не мора бити истог квалитета као вода за пиће. Такође, јефтинија вода богата хранљивим материјама може се користити за наводњавање, што штеди трошкове воде и ђубрива. Проблем може представљати удаљеност постројења за пречишћавање отпадних вода, али значајно смањење потражње

за водом из водоводних система може се постићи правилном имплементацијом ових мјера.

Материја

Из третмана сирове воде и третмана отпадних вода могу се извући различити материјали који се могу поново користити или рециклирати. Неки од примјера тих материјала који се могу добити из тих процеса су:

- Третман сирове воде - Муљ може бити третиран и коришћен као компост или као материјал за побољшање квалитета тла. Хемикалије које се користе у процесу флокулације могу се рециклирати или поново користити у неким случајевима.
- Третман отпадних вода – Органски материјали из отпадних вода могу се користити за производњу биогаса путем анаеробне дигестије. Биолошки разградиви отпад може бити компостиран и коришћен као гнојиво. Материјали попут пластике и метала могу се извадити и рециклирати из отпадних вода. Нитрати и фосфати се могу рециклирати и користити као ђубрива у пољопривреди. Угљен-диоксид, који може бити присутан у отпадним водама, може се користити у индустрији или као дио процеса производње.

Имплементација циркуларне економије у третману вода може значајно допринијети смањењу отпада, уштеди ресурса и побољшању одрживости система.

Енергија

Потрошња енергије у водоводним системима (укључујући третман сирове воде, транспорт и третман отпадних вода) чини од 10 до 15% укупне производње електричне енергије у земљи [7]. С обзиром на то да је већина енергије коју користе водоводна предузећа из фосилних горива, важно је да се предузећа усмјере ка смањењу потрошње електричне енергије из фосилних извора повећањем употребе обновљивих извора енергије.

Водоводна предузећа могу производити енергију из обновљивих извора за своје потребе, чиме доприносе зеленој агенди. Опције као што су уграђивање микротурбина у цјевоводе (за редукцију притиска и производњу енергије), инсталација соларних панела на постројењима за третман воде и пумпним станицама, као и употреба вјетротурбина, могу значајно повећати независност водоводних система од електропривреде. Такође, примјеном ових мјера водоводна предузећа могу потенцијално продавати вишак произведене енергије електропривреди и тиме обезбједити додатне приходе.

4. Закључак

Све већа потражња за ресурсима воде, енергије и хране захтијева промјене у досадашњем управљању системима водоснабдевања. Ова транзиција ка циркуларној економији у сектору водоснабдијевања је изазовна и дугорочна, и захтјева комплексне и интегрисане приступе. Првенствено, ова транзиција захтева фундаменталне промјене у начину вредновања и управљања водом, као и у начину на који се ресурси користе и рециклирају.

У овом раду прегледом литературе су представљена три главна аспекта која могу допринијети водоводним предузећима: Вода - Развијање и примјена стратегија за оптимизацију управљања водом и њену поновну употребу; Материја - Рециклирање и поновно коришћење материјала који се могу добити из отпадних вода или остатака процеса третмана и Енергија - Интеграција обновљивих извора енергије у водоводне системе и коришћење отпадне енергије из процеса третмана воде.

Такве мјере не само да могу довести до значајних уштеда и побољшања у ефикасности водоводних система, већ и допринијети укупном смањењу загађења и утицаја на животну средину.

5. Литература

- [1] Вукадиновић П, Екологија између линеарне и циркуларне економије, *Ecologica*, Vol. 24, No. 90, pp. 231-236, Научно-стручно друштво за заштиту животне средине Србије *Ecologica*, јун, 2018.
- [2] Smol M, Adam C, Preisner M, Circular economy model framework in the European water and wastewater sector, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 22:682–697, Japan Society of Material Cycles and Waste Management and the Korea Society of Waste Management, 2020.
- [3] Guerrini A, Manca J. Regulatory interventions to sustain circular economy in the water sector. insights from the Italian Regulatory Authority (ARERA), *H₂Open Journal* Vol 3 No 1, IWA, the International Water Association, 2020.
- [4] *** <https://cin.ba/zelena-agenda/>
- [5] Nika C. E, Gusmaroli L, Ghafourian M, Atanasova N, Buttiglieri G, Katsou E, Nature-based solutions as enablers of circularity in water systems: A review on assessment methodologies, tools and indicators, *Water Research* 183, 115988, IWA, the International Water Association, 2020.
- [6] Arup, Antea Group and Ellen MacArthur Foundation.: Water and Circular Economy: White paper. 2018. https://nextgenwater.eu/wp-content/uploads/2018/10/-Water_and_circular_economy-Co.Project_White_paper.pdf

- [7] IWA (International Water Association).: Water utility pathways in a circular economy: Charting a Course for Sustainability. <https://iwa-network.org/water-utility-pathways-circular-economy-charting-course-sustainability/>, 2016.

MOGUĆE POSLEDICE PRIMENE NOVE DIREKTIVE O GRADSKIM OTPADNIM VODAMA EU U SRBIJI

POSSIBLE CONSEQUENCES OF THE APPLICATION OF THE NEW EU URBAN WASTEWATER DIRECTIVE IN SERBIA

TIJANA PETROVIĆ¹
ALEKSANDAR ĐUKIĆ²

Pregledni stručni rad
DOI: 10.5937/VIK24079P

Rezime: Direktiva o tretmanu gradskih otpadnih voda EU usvojena je 1991. godine i njenom primenom u protekle tri decenije došlo je do značajnog smanjenja ispuštanja zagađenja u vode na teritoriji EU. Nakon višegodišnjeg procesa evaluacije i konsultacija, Evropska komisija je oktobra 2022. godine usvojila predlog nove Direktive o gradskim otpadnim vodama koja uvodi značajne novine u ovoj oblasti. U radu su detaljno prikazani najbitniji elementi nove Direktive i data je preliminarna procena uticaja zahteva iz predloga nove Direktive na budući razvoj ovog sektora u Srbiji.

Cljučne reči: Direktiva o gradskim otpadnim vodama, otpade vode, kišne vode, prečišćavanje otpadnih voda

Abstract: The EU Urban Wastewater Treatment Directive was adopted in 1991 and its implementation over the past three decades has resulted in a significant reduction in pollution discharges in the EU. After a multi-year process of evaluation and consultation, in October 2022, the European Commission adopted a proposal for a new Directive on urban wastewater, which introduces significant innovations in this area. The paper presents the most important elements of the new Directive in detail and provides a preliminary assessment of the impact of the requirements from the proposal of the new Directive on the future development of this sector in Serbia.

Key Words: Directive on urban waste water, waste water, rain water, waste water treatment

1. Uvod

Direktiva Saveta Evropske unije (EU) broj 91/271/EEC o tretmanu gradskih otpadnih voda iz 1991. godine, sa dopunom 98/15/EC iz februara 1998. godine, us

¹ Tijana Petrović, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd, petrovictijana12@gmail.com, ORCID: 0009-0008-9453-157X

² Aleksandar Đukić, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd, djukic@grf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0003-3548-989X

vojena je sa osnovnim ciljem zaštite voda od štetnih efekata ispuštanja komunalnih otpadnih voda - otpadnih voda iz domaćinstava, ustanova i industrije priključenih na javnu kanalizaciju, kao i dela kišnih voda koje mogu završiti u kanalizaciji za upotrebljene vode [1], [2].

Nakon više od tri decenije od početka primene Direktive skoro svi zadaci postavljeni ovom Direktivom su ispunjeni, ali su se pojavili novi izazovi, kao što su na primer: nove vrste zagađenja, klimatske promene, pandemije, usklađivanje sa drugim direktivama i strategijama (npr. Evropski zeleni plan – European Green Deal, 2018) vezanim za životnu sredinu, rukovanje muljevima i proširena odgovornost proizvođača.

Stoga su proteklih godina u EU pokrenuta opsežna istraživanja i konsultacije o dometima i rezultatima primene originalne Direktive, preostalim zagađenjima koja se ispuštaju, identifikacija novih vrsta zagađenja od interesa, inkorporiranje principa cirkularne ekonomije i Evropskog zelenog dogovora u oblast gradskih otpadnih voda, uticaji urbanizacije na režim gradskih otpadnih voda i drugo. Sve ove aktivnosti su rezultirale definisanjem Predloga nove Direktive o gradskim otpadnim vodama, koju je usvojila Evropska komisija 26. oktobra 2022. godine [3].

2. Osnovne postavke predloga nove Direktive i izmene u odnosu na staru Direktivu

Najbitnija rešenja iz predloga nove Direktive su:

- Ciljevi Direktive su prošireni tako da uključuju, pored zaštite životne sredine, zaštitu zdravlja, smanjenje emisije gasova staklene bašte, poboljšanje upravljanja i transparentnosti sektora, bolji pristup sanitarnim uslovima i redovno praćenje parametara relevantnih za javno zdravlje u gradskim otpadnim vodama.
- Obaveza uspostavljanja sistema za sakupljanje komunalnih otpadnih voda proširena je na sve aglomeracije sa 1.000 ili više ekvivalentnih stanovnika (ES).
- Uvodi se nova obaveza koja zahteva da domaćinstva budu priključena na sisteme za sakupljanje otpadnih voda tamo gde oni postoje.
- Pooštrene su (smanjene), u odnosu na postojeću Direktivu, granične vrednosti emisije sekundarnog i tercijarnog tretmana na postrojenjima za prečišćavanje otpadnih voda (PPOV) [4].
- Obaveza primene sekundarnog tretmana gradskih otpadnih voda pre ispuštanja u životnu sredinu proširena je na sve aglomeracije sa 1.000 ili više ES (u staroj Direktivi ova obaveza je definisana za aglomeracije sa 2.000 ili više ES).
- Tercijarni tretman je obavezan na svim PPOV koji tretiraju opterećenje jednako ili veće od 100.000 ES. Tercijarni tretman će takođe morati da se primeni u

prečišćavanju otpadnih voda iz aglomeracija između 10.000 i 100.000 ES u oblastima koje su države članice identifikovale kao osjetljive na eutrofikaciju.

- Kvarterni tretman - uvodi se obaveza primene dodatnog tretmana gradskih otpadnih voda u cilju eliminisanja što šireg spektra mikropolutanata (farmaceutski i kozmetički proizvodi).

Ovaj tretman će se primeniti na svim PPOV koja tretiraju opterećenje jednako ili veće od 100.000 ES najkasnije do 31.12.2035. god. Do 31. decembra 2040. primeniće se i na sve aglomeracije između 10.000 i 100.000 ES u oblastima gde koncentracija ili akumulacija mikropolutanata predstavlja rizik po zdravlje ljudi ili životnu sredinu.

- Moguća je, u izuzetnim slučajevima, primena pojedinačnih ili drugih odgovarajućih sistema za sakupljanje i tretman otpadnih voda.
- Uvodi se obaveza izrade i primene Planova integralnog upravljanja gradskim otpadnim vodama u većim aglomeracijama u cilju smanjenja zagađenja od kišnih voda (urbani površinski oticaj i prelivanje viška kišnice).

Okvirni sadržaj planova, kao i njihovi ciljevi treba da se prilagode lokalnim okolnostima, zasnovani su na najboljoj praksi. Izrada planova je obavezna za sve aglomeracije sa brojem ES 100.000 ili više, kao i za sve aglomeracije između 10.000 i 100.000 ES gde urbani površinski oticaj ili prelivanje viška kišnice predstavlja rizik po životnu sredinu ili zdravlje ljudi.

Plan mora sadržati: (1) Analizu početnog stanja, (2) Ciljeve za smanjenje zagađenja od izlivanja atmosferskih voda, (3) Mere koje treba preduzeti, uz jasnu identifikaciju učesnika i njihovih odgovornosti, (4) Preventivne mere i mere za upravljanje i optimizaciju korišćenja postojeće infrastrukture.

- Proširena odgovornost proizvođača - uvodi se obaveza za proizvođače (uključujući uvoznike) da pokrivaju troškove kvartarnog tretmana u slučajevima kada stavljaju na nacionalno tržište država članica proizvode koji na kraju svog životnog veka dovode do zagađenja gradskih otpadnih voda mikropolutantima. Ovaj finansijski doprinos će biti utvrđen na osnovu količina i toksičnosti ovih proizvoda koji se stavljaju na tržište.
- Obaveza postizanja energetske neutralnosti na nacionalnom nivou svih PPOV većih od 10.000 ES do 31.12.2040. godine.
- Ispuštanje industrijskih otpadnih voda u kanalizaciju je više ograničeno i traži se učešće operatera kanalizacije u definisanju uslova za ispuštanje i redovniji monitoring industrijskih otpadnih voda.
- Uvodi se zahtev za promovisanjem ponovne upotrebe prečišćene otpadne vode iz svih gradskih PPOV.

- Uspostavljanje nacionalnog sistema za monitoring gradskih otpadnih voda za praćenje relevantnih parametara od interesa za javno zdravlje u otpadnim vodama.

U tom cilju, države članice će morati da uspostave koordinacionu strukturu između organa nadležnih za javno zdravlje i za prečišćavanje gradskih otpadnih voda. Ova struktura će odrediti koji parametri će biti praćeni, učestalost i metode ispitivanja.

- Procena i upravljanje rizikom – novi zahtev koji definiše obavezu država članica da procene rizike izazvane ispuštanjem gradskih otpadnih voda po životnu sredinu i zdravlje ljudi i, gde je potrebno, preduzmu dodatne mere preko minimalnih zahteva Direktive za rešavanje ovih rizika.

Ove mere treba da obuhvataju, gde je to prikladno, sakupljanje i prečišćavanje otpadnih voda iz aglomeracija manjih od 1.000 ES, primenu tercijarnog ili kvartarnog tretmana u aglomeracijama ispod 10.000 ES i dodatne mere za smanjenje zagađenja kišnih voda u aglomeracijama manjim od 10.000 ES.

- Uvodi se obaveza da države članice poboljšaju i održe pristup sanitarnim uslovima za sve, naročito za ugrožene i marginalizovane grupe. Do 31. decembra 2027. godine, države članice će takođe morati da identifikuju kategorije ljudi bez pristupa ili sa ograničenim pristupom sanitaciji, procene mogućnosti za poboljšanje pristupa sanitarnim objektima za takve ljude i podstaknu uspostavljanje slobodno i bezbedno dostupnih sanitarnih objekata na javnim površinama svih aglomeracija od 10.000 ES ili većim.
- Kanalizacioni muljevi se moraju tretirati, reciklirati i iz njih izvući korisne materije kad god je to prikladno, u skladu sa hijerarhijom otpada kako je definisano u Okvirnoj direktivi o otpadu EU i zahtevima Direktive o kanalizacionom mulju EU i odložiti u skladu sa zahtevima Okvirne direktive o otpadu EU. Komisija će naknadno odrediti minimalne stope rekuperacije fosfora i drugih kritičnih supstanci.
- Nove obaveze u monitoringu: države članice će morati da prate zagađenje usled urbanog površinskog oticaja i preliivanja viška kišnice, koncentracije i opterećenja zagađujućim materijama, definisanih u Direktivi, u ispuštima gradskih PPOV, kao i prisustvo mikroplastike (uključujući i sadržaj u mulju). Neka zagađenja iz industrijskih otpadnih ovda će morati da se redovno prate na ulazima i izlazima PPOV.
- Odredbe u vezi sa izveštavanjem javnosti su pojednostavljene u odnosu na postojeća rešenja i zamenjene novim sistemom, koji podrazumeva ne samo izveštavanje, već redovno ažuriranje skupa nacionalnih podataka koji je dostupan Evropskoj agenciji za životnu sredinu i Evropskoj Komisiji.

- Informisanje javnosti - države članice će obezbediti da adekvatne i ažurne informacije o prikupljanju i tretmanu gradskih otpadnih voda budu stalno dostupne na Internetu, i da korisnici budu adekvatno informisani, npr. preko računa za vodu, o nivou usklađenosti infrastrukture za prečišćavanje sa zahtevima Direktive, godišnjoj količini sakupljene i prečišćene gradske otpadne vode korisnika, itd.
- Pristup pravdi - novi zahtev koji je u skladu sa članom 47. Povelje o osnovnim pravima i primenjuje Arhusku konvenciju u pogledu pristupa pravdi (Access to justice).
Trebalo bi da bude omogućeno javnosti i nevladinim organizacijama da pravno preispituju odluke koje su donele države članice prema ovoj Direktivi.
- Novi član o obeštećenju, sa ciljem da se osigura da kada je narušavanje zdravlja u potpunosti ili delimično nastalo kao posledica kršenja nacionalnih mera usvojenih u skladu sa ovom Direktivom, zainteresovana javnost može da traži i dobije obeštećenje za pričinjenu štetu od relevantnih nadležnih organa i, ako su identifikovani, fizičkih ili pravnih lica odgovornih za kršenje mera.

3. Postojeće stanje i planska rešenja za Republiku Srbiju

Stanje sektora gradskih otpadnih voda u Srbiji se odlikuje nedovoljnim obimom postojeće kanalizacione mreže (oko 60% stanovništva je priključeno na javnu kanalizaciju), vrlo niskim procentom otpadnih voda koje se prečišćavaju (od sakupljenih otpadnih voda samo oko 18% se podvrgava nekom tretmanu pre ispuštanja) [8], a postoji i radi manje od 30 PPOV.

Najveći gradovi kao što su Beograd, Novi Sad, Niš, Zrenjanin, Pančevo, Čačak, Užice, itd. još uvek nemaju prečišćavanje otpadnih voda. Iako je sliv Dunava proglašen za zonu osetljivu na eutrofikaciju, samo na nekoliko postrojenja se vrši uklanjanje azota i/ili fosfora.

Postoje hronični problemi u finansiranju rada PPOV, a obrada i odlaganje mulja su suočeni sa nepostojanjem sistemskih rešenja za tretman, korišćenje i zbrinjavanje mulja. Stanje u ovoj oblasti se u proteklih 10-ak godina postepeno poboljšava sa značajnim povećanjem investicija u razvoj kanalizacije i postrojenja za prečišćavanje, ali izostala su sistemska rešenja za reorganizaciju sektora. Jasno je da će biti potrebne decenije da se ovaj problem na adekvatan način reši.

Postojeće planska rešenja u ovoj oblasti definisana su sledećim dokumentima:

- Strategija upravljanja vodama na teritoriji Republike Srbije do 2034. godine [5], koja je osnovni dokument sektorske strategije u oblasti voda, uključujući i zaštitu voda od zagađenja gradskim otpadnim vodama;

- Prostorni plan Republike Srbije, gde je postojeći Prostorni plan istekao 2020. godine (sadrži rešenja bazirana na Vodoprivremoj osnovi R. Srbije, koja je 2016. godine zamenjena Strategijom upravljanja vodama na teritoriji R. Srbije do 2034. godine), a novi Prostorni plan, za planski period do 2035. godine [6], koji je usklađen sa Strategijom upravljanja vodama još nije usvojen.
- Republika Srbija je za potrebe pripreme platforme za pristupne pregovore sa EU u domenu zaštite životne sredine i prečišćavanja gradskih otpadnih voda pripremila Plan implemetacije specifičan za direktivu (DSIP – Directive Specific Implementation Plan for Urban Wastewater Treatment Directive) [7]. DSIP je urađen 2019. godine u skladu sa zahtevima postojeće (stare) Direktive o gradskim otpadnim vodama iz 1991. godine. DSIP obuhvata izgradnju kanalizacionih sistema i PPOV u naseljima (aglomeracijama) većim od 2.000 ES, uz identifikaciju i nekoliko desetina manjih PPOV, gde su ona neophodna da bi se postigao traženi kvalitet životne sredine (u zaštićenim područjima, na primer). Na teritoriji Republike Srbije, bez KiM, identifikovano je ukupno 398 aglomeracija i to u sledećim opsezima [6], [7]:
 - 4 aglomeracije veće od 150.000 ES (ukupno opterećenje 2,74 mil. ES),
 - 19 aglomeracija od 50.000 do 150.000 ES (ukupno opterećenje 1,58 mil. ES),
 - 48 aglomeracija od 15.000 do 50.000 ES (ukupno opterećenje 1,37 mil. ES),
 - 24 aglomeracije od 10.000 do 15.000 ES (ukupno opterećenje 0,25 mil. ES),
 - 278 aglomeracija od 2.000 do 10.000 ES (ukupno opterećenje 1,18 mil. ES),
 - 25 aglomeracija ispod 2.000 ES - u skladu sa članom 7 Direktive.

Broj aglomeracija ne mora da odražava i broj potrebnih PPOV, jer neke aglomeracije tehnološki i ekonomski mogu povoljnije prečišćavati otpadne vode na nekoliko PPOV (npr. u Beogradu je planirano 4 PPOV), ili nekoliko aglomeracija može biti priključeno na isto PPOV (Vrbas-Kula, Užice-Sevojno-moguće i Požega-Arilje-Kosjerić-Ivanjica), Paraćin-Ćuprija, Nova Pazova-Stara Pazova-Indija, itd.). Prema planu, predviđeno je ukupno 359 PPOV u Srbiji, ukupnog kapaciteta oko 7,1 miliona ES. U ovaj broj ulaze i postojeća PPOV, od kojih se na velikoj većini mora obaviti rekonstrukcija i nadgradnja kako bi ispunila propisane zahteve stare Direktive.

Pored PPOV, potrebno je proširiti i rekonstruisati kanalizaciju u naseljima, po pravilu kao separacionu kanalizaciju, kako bi bilo priključeno još oko 2 miliona stanovnika (čime bi ukupno bilo priključeno 5,9 miliona stanovnika ili 85% svih stanovnika). Procenjeno je da treba izgraditi preko 10.000 kilometara kanalizacije za upotrebljene vode, rekonstruisati preko 1.000 kilometara postojećih kolektora i izgraditi / rekonstruisati brojne crpne stanice, prelive i druge građevine.

Ukupne investicije za kompletnu implementaciju Direktive o prečišćavanju gradskih otpadnih voda su procenjene u DSIP-u na oko 4,3 milijarde evra [7], što je skoro polovina od ukupnih procenjenih potrebnih investicija u sektor voda u plan-
skom periodu do 2035. godine.

DSIP ne razmatra detaljnije odvođenje i kvalitet kišnih voda u gradovima, ali je jasno da, u cilju sveobuhvatne zaštite voda od zagađivanja i zaštite od voda, izgradnja atmosferske kanalizacije mora da prati kompletnu urbanizaciju naselja i ne sme se dozvoliti značajno zaostajanje njene izgradnje u odnosu na kanalizacione sisteme za upotrebljene vode.

Dokument [6] usvaja da pri izgradnji ovih sistema treba primeniti savremeni pristup, koji obuhvata niz mera i radova na celoj slivnoj površini, od mesta nastanka oticaja do recipijenta, u zavisnosti od karakteristika sliva i postavljenog cilja (zaštita kvaliteta voda i zemljišta, kontrola brzine i količine oticaja i sl).

Mere i radove koji se primenjuju za odvođenje kišnog oticaja treba povezati sa aktivnostima na zaštiti od štetnog dejstva voda i zaštiti voda od zagađivanja, kao i sa urbanizacijom i pravilima građenja (smanjenje udela vodonepropusnih površina, zelena infrastruktura – parkovske i promenadne površine u dolinama malih vodotoka u gradskoj sredini, jer se na taj način izbegavaju štete i u slučaju ekstremnih padavina i oticaja, zeleni krovovi i druge mere) [6].

Pravna regulativa u ovoj oblasti praktično ne postoji, tako da tek predstoji pravno normiranje ove oblasti, koje mora biti praćeno i odgovarajućim institucionalnim rešenjima.

Smanjenje unosa zagađenja u vode iz industrijskih postrojenja biće postignuto punom primenom Zakona o integrisanom sprečavanju i kontroli zagađivanja životne sredine (*Službeni glasnik RS*, br. 135/04 i 25/15), kao i primenom najboljih raspoloživih tehnologija (BAT – Best Available Technique) ili najboljih dostupnih tehnika koje ne iziskuju prekomerne troškove (BATNEC - Best Available Techniques not Entailing Excessive Costs).

U pogledu ispuštanja industrijskih otpadnih voda, osnovne mere su uvođenje adekvatnih predtretmana u industrijama priključenim na kanalizacione sisteme naselja i izgradnja namenskih PPOV u industrijama koje svoje otpadne vode upuštaju neposredno u vodotokove [6].

4. Glavni mogući uticaji primene predloga nove direktive u Republici Srbiji

U ovom trenutku nije moguće precizno sagledati sve finansijske, tehničke i institucionalne implikacije predloga nove Direktive o gradskim otpadnim vodama EU na stanje ovog sektora u Srbiji, ali je očigledno da će one biti ozbiljne, dugoročne

i zahtevaće znatna finansijska sredstva. Glavni uticaji se mogu sumirati na sledeći način:

Predstoji kompleksan posao na definisanju potrebnih aktivnosti na identifikaciji mera prema novoj Direktivi. Spuštanje granice veličine naselja za obavezno prečišćavanje otpadnih voda sa 2.000 na 1.000 ES će dovesti do potrebe za izgradnjom nekoliko stotina malih PPOV kapaciteta od 1.000 do 2.000 ES u odnosu na broj definisan DSIP-om.

Sliv Dunava je eksplicitno naveden u predlogu nove Direktive kao područje osetljivo na eutrofikaciju, a kako preko 90% teritorije Srbije pripada ovom slivu, to znači da će sva buduća PPOV veća od 10.000 ES (njih oko stotinu) morati da primene postupke za uklanjanje azota i fosfora. Poređenja radi, danas u Srbiji postoji samo nekoliko većih PPOV koja uklanjaju azot i fosfor iz otpadnih voda. Postupci prerade mulja će postati složeniji, sa obavezom rekuperacije materija kod većih PPOV i/ili energetskim iskorišćenjem mulja, gde god je to moguće i opravdano.

Velika većina (možda i sva) postojeća PPOV će morati biti rekonstruisana da bi zahtevi nove Direktive bili ispunjeni (smanjenje graničnih vrednosti emisije, povećano uklanjanje nutrijenata, uklanjanje mikropolutanata, i dr).

Sistem monitoringa prirodnih voda i otpadnih voda će morati da bude znatno unapređen.

Biće naglašena potreba za rekonstrukcijom kanizacionih sistema da bi se ispunili zahtevi u pogledu upravljanja kišnim vodama u naseljima i smanjio dotok čistih voda u kanalizaciju (infiltracija, kišne vode) koje remete proces biološkog prečišćavanja na PPOV.

Biće potrebno promeniti koncept upravljanja kišnim vodama u naseljima. Ovo će zahtevati ne samo izgradnju kišne kanalizacije već i primenu zelene infrastrukture i novih metoda za upravljanje oticajem u urbanim sredinama. Takođe biće neophodne i duboke promene u urbanističkom planiranju i uređenju prostora u naseljima. Sve ovo će zahtevati usvajanje novih znanja i veština svih učesnika u procesu urbanističkog planiranja i projektovanju urbane hidrotehničke infrastrukture.

5. Zaključci

Predlog nove Direktive o otpadnim vodama, koga je oktobra 2022. godine usvojila Evropska Komisija, uvodi značajne novine u sektor gradskih otpadnih voda. Direktiva još nije stupila na snagu, ali njeno usvajanje i početak primene se očekuje u bliskoj budućnosti. U ovom trenutku nije moguće napraviti pouzdanu procenu potrebnih finansijskih sredstava za primenu svih mera nove Direktive, ali jasno je da su po sredi dugoročne aktivnosti koje će zahtevati značajna sredstva (reda veličine

milijardi evra), a implementacija će trajati decenijama. Nova Direktiva još nije usvojena tako da ima vremena za njenu analizu i pripremu za njenu primenu, a sigurno će biti potrebna i revizija DSIP-a, možda i pregovaračke pozicije Srbije prema EU u ovoj oblasti (nekadašnje poglavlje 27).

Republika Srbija još uvek nema obavezu spram novog predloga Direktive, ali bi trebalo da ozbiljno i studiozno pristupi proceni njenih uticaja na buduće upravljanje gradskim otpadnim vodama, naročito sa aspekta potrebnih investicija, ali i neophodnih organizacionih, tehničkih i administrativnih promena u sektoru komunalnih delatnosti vodosnabdevanja i kanalizacije, kako bi se omogućila pravilna primena i obezbedili dugoročni pozitivni efekti primene nove Direktive.

Novi i veoma kompleksni zadaci će se postavljati pred komunalna preduzeća vodovoda i kanalizacije u Srbiji, i jasno je da će biti neophodno iznaći dugoročna sistemska rešenja za kontinuirano finansijsko, organizaciono, kadrovsko i tehničko jačanje njihovih kapaciteta.

6. Zahvalnica

Istraživanje je finansijski podržano od strane Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, broj ugovora 451-03-65/2024-03/200092.

7. Literatura

- [1] Council Directive of 21 May 1991 concerning urban waste water treatment (91/271/EEC)
- [2] Commission Directive 98/15/EC of 27 February 1998 amending Council Directive 91/271/EEC with respect to certain requirements established in Annex I thereof
- [3] European Commission, Brussels, 26.10.2022, COM(2022) 541 final 2022/0345 (COD), Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council Concerning Urban Wastewater Treatment
- [4] European Commission, Brussels, 26.10.2022, COM(2022) 541 final, ANNEXES to the Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council Concerning Urban Wastewater Treatment
- [5] Strategija upravljanja vodama na teritoriji Republike Srbije do 2034. godine, *Sl. glasnik RS*, br. 3/2017
- [6] Republika Srbija, Ministarstvo građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture. Prostorni plan Republike Srbije od 2021. do 2035. rodine, Nacrt, 2021.
- [7] Ministarstvo životne sredine Srbije. DSIP for Urban Wastewater Treatment Directive, (Serbia WW DSIP_2018.pdf), izradu finasirala EU, konsultant Eptisa, 2018.

- [8] Republika Srbija, Ministarstvo građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture. Izveštaj o obavljanju komunalnih delatnosti na teritoriji Republike Srbije u 2020. godini, 2021.
- [9] Uredba o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokovima za njihovo dostizanje *Sl. glasnik RS*, br. 67/2011, 48/2012 i 1/2016

УТИЦАЈ ИНТЕРНЕ КОМУНИКАЦИЈЕ НА ЗАДОВОЉСТВО ЗАПОСЛЕНИХ, ИМИЦ И ПОСЛОВАЊЕ ЈКП „ВИК“

THE IMPACT OF INTERNAL COMMUNICATION ON EMPLOYEE SATISFACTION, IMAGE AND BUSINESS OF WATER COMPANIES

СИНИША ГАЈИН¹

Стручни рад

DOI: 10.5937/VIK24089G

Резиме: Добро успостављени канали интерне комуникације омогућавају брз и неометан проток информација у предузећу и на тај наћин директно утичу на његово пословање, имиц у јавности и задовољство запослених. Због свог значаја успостављање, руковођење и контрола целокупног процеса интерне комуникације мора бити поверена односима с јавношћу који у тим активностима морају имати јасну и неподељену подршку менаџмента предузећа.

Кључне речи: односи с јавношћу, интерна комуникација, канали комуникације, задовољство запослених, имиц

Abstract: Well-established channels of internal communication enable a fast and smooth flow of information in the company and thus directly affect its business, public image and employee satisfaction. Due to its importance, the establishment, management and control of the entire process of internal communication must be entrusted to public relations, which must have the clear and undivided support of the company's management in these activities.

Key words: public relations, internal communication, communication channels, employee satisfaction, image

1. Увод

Водоводна предузећа у великој мери успешно испуњавају обавезе из поверених делатности, али су врло често на мети великих критика јавности и за најмање проблеме у свом раду, што утиче и на поприлично негативан имиц у јавности. С друге стране, поставља се питање да ли целокупно друштво увиђа

¹ Синиша Гајин, ЈКП „Водовод и канализација“, Петефијева 3, Зрењанин, sinisa.gajin@gmail.com ORCID: 0009-0008-9875-9053

стварни значај водоводних предузећа и тренутно стање у истим. И поред приметних улагања државе и локалних самоуправа последњих година у опрему и инфраструктуру, водоводна предузећа и даље имају значајне финансијске проблеме, суочавају се са недовољним бројем радника на терену и инжењера у струци, чињеницом да се најiskusнији кадар налази у годинама пред пензијом, недостатком опреме и алата и радних машина, великим проблемима у одржавању мреже због њене старости, ниским зарадама који не прате тренд повећања зарада у јавном сектору јер се комунална предузећа финансирају из сопствених прихода са ценом услуга која је притом испод тржишне вредности и под директном контролом оснивача.

Поред наведеног генерални проблем у јавном сектору, па тако и у водоводним предузећима, је лоша комуникација и слаб проток информација унутар предузећа који углавном тече од менаџмента ка запосленима, а ретко или готово никад обрнуто, као и велики отпор променама и прилагођавању савременим условима пословања, а приметно је и слабо улагање у обуку и усавршавање запослених. Истраживања, међу којима је и ауторово, показала су да велика већина предузећа у јавном сектору немају дефинисане ни формализоване канале комуникација унутар предузећа, као ни запослене или службе које би се бавили интерном комуникацијом. У ретким предузећима где постоје службе или појединци који се баве односима с јавношћу они не припадају менаџменту предузећа и врло ретко присуствују састанцима истог, а и не препознају се као неко ко би требао да се бави унутрашњом комуникацијом, иако је она једна од кључних активности односа с јавношћу.

У складу са наведеним поставља се питање не само како и на који начин ће се обезбедити прилив квалитетне и стручне радне снаге у будућности, већ и како задржати постојећи квалитетни кадар, а самим тим и колико ће водоводна предузећа бити у стању да квалитетно извршавају делатности из своје надлежности.

За решавање неколико кључних проблема неопходна је помоћ државе, али значајни део истих могу и морају да реше сама предузећа, а један од начина је успостављање ефикасне и стандардизоване интерне комуникације која треба да омогући задовољство запослених, а која ће бити поверена на управљање односима с јавношћу.

2. Појам, значај и циљеви интерне комуникације

Запослени у организацији представљају интерну јавност, што значи да је интерна комуникација усмерена на само предузеће и комуникацију међу запосленима.

Интерна комуникација представља размењивање информација и идеја унутар предузећа и кључна је за успешно обављање свих пословних активности и добре резултате пословања, задовољство запослених и њихову идентификацију са предузећем, као и за имиџ предузећа у јавности, што јасно указује на њен значај.

Суштина интерне комуникације је двосмерна комуникација, кроз коју се стварају и одржавају односи доброг разумевања између руководства и запослених. Двосмерна комуникација између менаџмента и запослених, не само да јача подршку менаџменту, већ такође обезбеђује запосленима повратне информације, које побољшавају њихове резултате рада [1].

Од велике је важности да циљеви предузећа буду познати запосленима, као и задаци и очекивања које руководство има од њих, јер ће на тај начин моћи боље да сагледају значај активности које обављају у предузећу, али и значај тих активности за ширу заједницу и друштво у целини. Такође, потребно је запослене информисати о пословним плановима и резултатима и омогућити им да се чује и њихово мишљење [2].

Добра интерна комуникација је основ добрих односа у сваком предузећу. Добри односи стварају позитивну атмосферу из које се ствара позитивна енергија, а из позитивне енергије рађају се ентузијазам и креативност. У таквим условима, запослени су одани и високо мотивисани, имају изграђен осећај припадности компанији, поистовећују се са организацијом у којој раде и спремни су да се боре за остварење њених циљева. У таквој ситуацији, запослени организацију у којој раде доживљавају као своју, а њене успехе као сопствене. Захваљујући свему томе, запослени се далеко више ангажују у послу, а тиме се стварају одличне шансе да пословни резултати организације буду на високом нивоу [2].

Задовољни радници су најбољи амбасадори предузећа, јер они кроз разговор са својом породицом и пријатељима преносе информације из предузећа у екстерну јавност, односно у спољни свет, а на добар имиџ једног предузећа не може ништа боље утицати од тога да је та информација и та слика о предузећу позитивна. И она умногоме одређује и жељу квалитетне и обучене радне снаге да се запосле у том предузећу и у њему граде своју пословну каријеру.

Дакле, добра интерна комуникација задржава постојеће запослене и тиме утиче на тренутно пословање предузећа, али кроз привлачење нове квалитетне радне снаге и на његову будућност.

Веома је важно нагласити да је добра интерна комуникација темељ и основ, али и кључни услов за добру комуникацију са екстерним јавностима.

Из наведеног јасно се идентификују и циљеви интерне комуникације: брз и квалитетан двосмерни проток информација који омогућује стварање поверења између запослених на свим нивоима; развијање осећаја припадности предузећу; јасно дефинисани задаци; упознавање запослених са организацијом, пословном политиком и стратегијом, као и са резултатима рада предузећа и његовим активностима; јачање позитивног имица предузећа у јавности.

3. ОСЈ као носиоци процеса интерне комуникације

Односи с јавношћу (ОСЈ) су менаџерска функција која плански и континуирано управља свим комуникацијама предузећа обезбеђујући ефикасну двосмерну комуникацију са интерним и екстерним заинтересованим јавностима, а све у циљу остваривања и одржавања међусобних односа заснованих на уважавању и поверењу, чиме директно утиче на задовољство запослених, имиц предузећа и његове пословне резултате.

Због свог значаја успостављање, руковођење и контрола целокупног процеса интерне комуникације мора бити поверена односима с јавношћу, као једна од њених кључних активности, а у њеном спровођењу морају имати јасну и неподељену подршку менаџмента предузећа који кроз правилнике формализује и стандардизује сам процес и стара се о његовој примени.

ОСЈ успостављају процес интерне комуникације на начин да дефинишу правила о вертикалној комуникацији ка доле - од менаџмента ка запосленима и комуникацији ка горе - од запослених ка менаџменту, као и о хоризонталној комуникацији – између руководиоца служби и самих служби предузећа чиме им помажу у њиховој међусобној комуникацији.

За сваки облик комуникације ОСЈ дефинишу канале комуницирања и одговарајући начин комуникације (писмено, електронским путем, телефоном или усмено) тако да се обезбеди разумљив, квалитетан, брз и неометан двосмерни проток информација.

Редовним анкетирањем и интервјуисањем запослених проверавају њихово задовољство успостављеним каналима комуникације, задовољство информац-ијама које до њих долазе и могућностима да упуте повратну информацију, као и да ли нешто треба мењати и шта.

Руковођење процесом обухвата могућност константног предлагања менаџменту измена у успостављеним интерним каналима комуникације у циљу њеног унапређења, што је једини начин да се одржи њихова ефикасност. Да би успешно руководили процесом ОСЈ морају бити информисани о свим

битним одлукама предузећа, у сталном непосредном контакту са доносиоцима одлука и присуствовати њиховима састанцима.

Активности ОСЈ прожимају се кроз све секторе и службе предузећа, које су им, између осталог, и извор информација за екстерну комуникацију и на тај начин врло ефикасно могу да контролишу спровођење дефинисане интерне комуникације и да врло успешно откривају „уска грла“ у комуникацији.

ОСЈ су задужени да путем успостављених канала комуникације обавештавају запослене о свих важним информацијама везаним за рад и пословање предузећа и да на тај начин, између осталог, спрече ширење гласина.

4. Ефикасна интерна комуникација

Интерна комуникација се мора плански и системски спроводити, и зато је веома важно испунити услове за ефикасну интерну комуникацију, која ће се спроводити кроз одговарајуће канале комуницирања.

Ефикасном интерном комуникацијом поред задовољства запослених, омогућује се лакше спровођење промена и мањи отпор њиховој примени, као и боља спремност за кризне ситуације и реаговање на исте.

Постоји седам услова за ефикасну интерну комуникацију [3]:

- Потпуна и истинита информација, која двосмерно тече и вертикално и хоризонтално,
- Поверење између послодаваца и запослених.
- Здрави и безбедни радни услови.
- Праведна исплата зарада запослених.
- Континуитет рада без сукоба.
- Задовољство запослених у раду, током већег дела радног времена.
- Осећање поноса на организацију и поверење у њену будућност.

Интерна комуникација мора се одвијати вертикално и хоризонтално кроз организациону структуру предузећа.

Вертикална комуникација обухвата комуникацију ка доле – од менаџмента ка запосленима, и ка горе – од запослених ка менаџменту.

Вертикална комуникација ка доле треба да обезбеди потуну информисаност запослених о стању у предузећу, његовим стратешким циљевима и плановима, о непосредним радним задацима које је потребно извршити и њиховом значају за пословање предузећа, што ће условити задовољство радника и мотивисаност за рад.

Тамо где нема информација појављују се гласине. Добрим информисањем спречава се ширење гласина које могу нанети велику штету и пословању и имицу предузећа, а код запослених створити несигурност и негативно утицати на њихово задовољство и мотивацију.

Вертикална комуникација ка горе треба да обезбеди да директор и менаџмент предузећа буде упознат са извршеним задацима, али и о проблемима, потребама и мишљењима запослених о условима рада, задовољству послом, пословањем организације и слично. Могућност изражавања мишљења и потенцијални утицај на доношење планова или услове рада, такође ће код запослених створити осећај задовољства.

Хоризонтална комуникација, која се одвија између руководиоца и различитих служби на истом нивоу, пре свега треба да омогући брже извршавање одређених задатака, али да обезбеди и бољу повезаност самих служби предузећа и њихову бољу комуникацију и да на тај начин спречи да се службе изолују и да гледају само сопствене интересе.

Поред формално утврђених канала комуникације, пажњу треба посветити и неформалној и невербалној комуникацији.

Неформална комуникација највише је заступљена унутар неформалних група и нема посредног утицаја на организацију и управљање у организацији, али њен утицај на мотивацију и развијање добрих међуљудских односа не може бити незапажен. Обављајући заједничке послове, запослени имају уобичајене разговоре, шале, дискусије о свакодневним проблемима и особинама људи у организацији, а често се расправља и о пословању. Постоје подаци да је око 80% информација, које путују као гласине, везано за пословање, а чак 75% су тачне [4].

Невербалној комуникацији се често не придаје превелики значај, а може имати велику улогу у задовољству запослених. У питању су поједини елементи корпоративног идентитета, односно оно по чему се предузеће препознаје и његова визуелна идентификација: изглед канцеларија, опремљеност радног места, радне униформе, сала за састанке, зграде и ходника, простора за паркирање, меморандума, визит карти и слично.

5. Канали интерне комуникације

Предузеће треба да одлучи које ће канале интерног комуницирања да користи у складу са својим техничким, организационим и финансијским могућностима, а на начин да се обезбеди разумљив, квалитетан, брз и неометан двосмерни проток информација.

Такође, утврђује се и начин комуникације кроз изабране канале, а она може бити писменим путем, усменим, телефонским или путем електронске поште, а са циљем да порука буде јасна и да пружи заштиту свим учесницима у комуникацији.

Канали интерног комуницирања могу се поделити на директне и индиректне, а заједничко за обе врсте канала је да се садржај и сами канали могу доста лако контролисати и да обухватају целокупну интерну јавност која је углавном заинтересована и активно се укључује у комуникациони процес [2].

Директни канали интерног комуницирања односе се на дистрибуцију порука (од руководства ка запосленима и од запослених ка руководству) непосредним путем [2].

У директне канале спадају: говори представника руководства запосленима, разни састанци којима присуствују мањи или већи број запослених, различите врсте окупљања запослених (специјални догађаји, прославе, годишњице, изложбе, посете организацији и сл.), коришћење службених телефона, курсеви и обуке запослених, слободне активности ван радног времена, покло-ни које организација додељује поводом рођендана запослених, венчања, рођења детета и слично [2].

Индиректни канали интерног комуницирања односе се на дистрибуцију порука (од руководства ка запосленима и од запослених ка руководству) посредним путем. Индиректни канали омогућавају да се савладају просторне и временске баријере између учесника у комуникацији [2].

У индиректне канале спадају: интранет, електронска пошта, компанијски лист и публикације, приручници и упутства, огласне табле, дневни извештаји, кутије за предлоге и сугестије и друго [2].

6. Закључак

Интерна комуникација обухвата комуникацију унутар предузећа, а у центар својих активности ставља запосленог и његово задовољство.

Добро успостављена и ефикасна интерна комуникација обезбеђује јасан, квалитетан, брз и неометан двосмерни проток информација у предузећу и кључна је за задовољство запослених и њихову индентификацију са предузећем, успешно обављање свих пословних активности и добре резултате пословања, као и за имиџ предузећа у јавности.

Задовољан радник је најбољи амбасадор предузећа, шири позитивну слику о предузећу у јавности јачајући његов имиџ, а и на тај начин може утицати на

квалитетну радну снагу да изрази жељу да се запосли у том предузећу, чиме се директно утиче не само на садашње него и на будуће пословање предузећа.

Руковођење и контрола целокупног процеса интерне комуникације мора бити поверена односима с јавношћу, као једна од њених кључних активности, а у њеном спровођењу морају имати јасну и неподељену подршку менаџмента предузећа који кроз правилнике формализује и стандардизује сам процес и стара се о његовој примени.

Да би успешно руководили целокупним процесом ОСЈ морају бити у сталном непосредном контакту са директором и менаџментом предузећа и присуствовати свим кључним састанцима, а најбољи резултати би се остварили уколико би ОСЈ и сами били део управљачког менаџмента.

ОСЈ процес спроводе плански и систематски дефинишући хоризонталне и вертикалне канале интерне комуникације, као и начин комуникације путем истих.

7. Литература

- [1] Gronroos C, *Service Management and Marketing: Managing the Moments of Truth in Service Competition*, Lexington, MA: Lexington Books, 1990.
- [2] Николић М, *Односи с јавношћу*, Универзитет у Новоме Саду, Технички факултет „Михајло Пупин“, Зрењанин, 2012.
- [3] Блек С, *Односи с јавношћу*, КЛИО, Београд, 1997.
- [4] Филиповић В, Костић М, *Односи с јавношћу*, Факултет организационих наука, Београд, 2014.

УТИЦАЈ ЕКСТЕРНЕ КОМУНИКАЦИЈЕ НА ЗАДОВОЉСТВО КОРИСНИКА, ИМИЦ И ПОСЛОВАЊЕ ЈКП „ВИК“

THE IMPACT OF EXTERNAL COMMUNICATION ON USER SATISFACTION, IMAGE AND BUSINESS OF WATER COMPANIES

СИНИША ГАЈИН¹

Стручни рад
DOI: 10.5937/VIK2097G

Резиме: Екстерна комуникација обухвата све канале комуникација које предузеће има са спољним јавностима, са посебним акцентом на комуникацију са медијима и корисницима услуга. Екстерна комуникација кључно утиче на задовољство корисника, имиц предузећа у јавности и на његове пословне резултате. Због свог значаја она мора бити планска и стратешка, и из тог разлога успостављање, руковођење и контрола целокупног процеса екстерне комуникације мора бити поверена односима с јавношћу.
Кључне речи: односи с јавношћу, екстерна комуникација, канали комуникације, задовољство корисника, имиц

Abstract: External communication includes all communication channels that the company has with external publics, with a special emphasis on communication with the media and service users. External communication has a key influence on user satisfaction, the company's image in the public and its business results. Due to its importance, it must be planned and strategic, and for this reason the establishment, management and control of the entire process of external communication must be entrusted to public relations.

Key Words: public relations, external communication, communication channels, user satisfaction, image

1. Увод

Колико је водоводно предузеће успешно, не показују само његови пословни резултати и квалитетно испуњавање поверених надлежности, већ и на који начин комуницира са својим заинтересованим јавностима, а управо та комуни-

¹ Синиша Гајин, ЈКП „Водовод и канализација“, Петефијева 3, Зрењанин, sinisa.gajin@gmail.com ORCID: 0009-0008-9875-9053

кација је један од најважнијих фактора који утичу на имиџ самог предузећа у јавности.

Један од кључних разлога неповољног имиџа у јавности целокупног јавног сектора, па самим тим и водоводних предузећа, је управо слабо развијена комуникација са својим спољним, односно екстерним јавностима. Ту се пре свега истичу проблеми у комуникацији са две најважније јавности – корисници услуга и медији, а који су кључни у изградњи доброг имиџа предузећа.

Специфично за водоводна предузећа је чињеница да је целокупна јавност и корисник њихових услуга, а међу њима и запослени у предузећу. Управо из тог разлога предузеће мора да сегментира своје јавности према њиховим потребама за информацијама, и да притом за сваку од јавности утврди начин комуникације који ће обезбедити брзу и ефикасну двосмерну комуникацију.

Монополски положај водоводна предузећа морају да искористе да кориснике својих услуга и њихово задовољство ставе у центар својих активности, а у томе главну улогу има добро развијена екстерна комуникација. Управо степен задовољства корисника има пресудну улогу на имиџ предузећа и његове пословне резултате.

Кључну улогу у изградњи планске и стратешке екстерне комуникације предузећа и добрих односа са својим јавностима на дугорочно и обострано задовољство имају односи с јавношћу, којима је то једна од главних активности, а у коликој мери ће то бити постигнуто зависи од њиховог положаја у предузећу и подршке директора у реализацији неопходних активности.

2. Појам, значај и циљеви екстерне комуникације

Екстерна комуникација обухвата комуникацију са свим заинтересованим јавностима ван предузећа.

Термин јавност представља групу људи (запослене, кориснике услуга, медије, осниваче, државне институције, друштвене организације и друге) која има заједничке интересе, жеље и потребе за информацијама, а предузеће путем односа с јавношћу има задатак да им то обезбеди [1].

Због специфичне чињенице да је целокупна јавност, а међу њима и запослени у предузећу, корисник његових услуга водоводно предузеће мора да сегментира своје екстерне јавности, односно да дефинише врсте јавности према поменутиим потребама за информацијама.

Предузеће за сваку врсту јавности одређује начин комуникације који омогућава двосмерну комуникацију, дефинише јединствена правила пословне кореспонденције за сваку од њих и контролише њихову примену.

Екстерна комуникација се спроводи плански и стратешки и мора бити дефинисана и стандардизована кроз интерна документа и правилнике, обједињена на нивоу целог предузећа и њом се мора управљати из једног центра.

Основ за квалитетну екстерну комуникацију је добро дефинисана и квалитетна интерна комуникација у предузећу.

Значај екстерне комуникације огледа се у чињеници да у двосмерној комуникацији са својим јавностима предузеће може добити кључне информације о њиховима ставовима и мишљењима и то може представљати индиректан начин испитивања њиховог задовољства о раду предузећа или његовог дела, о квалитету пружених услуга и начину на који предузеће комуницира са њима.

Имплементацијом добијених информација екстерном комуникацијом у пословне планове и стратегије предузеће на индиректан начин укључује своје јавности у процес доношења одлука, утичући на тај начин на повећање њиховог задовољства и повећање имица у јавности.

Циљ успостављања добре екстерне комуникације је да се кроз дефинисане начине комуникације и утврђену пословно кореспонденцију омогући брза, квалитетна и ефикасна двосмерна комуникација са свим заинтересованим јавностима. Да се успоставе међусобни односи засновани на поверењу и уважавању, пруже све потребне информације, кроз повратне информације испитају ставови јавности о пруженим услугама и на тај начин исте унапреде како би се створило веће задовољство корисника, бољи имиц предузећа и његови пословни резултати.

3. Односи с јавношћу као носиоци екстерне комуникације

Односи с јавношћу (ОСЈ) јесу менаџерска функција која идентификује, успоставља и одржава обострано корисне релације између предузећа и различитих јавности, од којих зависи успех или неуспех предузећа [2].

ОСЈ представљају глас јавности у предузећу, заступају и уважавају њене интересе, редовно је информишу и предлажу мере које би пословање предузећа ускладили са њиховим потребама.

Из наведеног може се уочити стратешки значај ОСЈ који се огледа у чињеници да су ОСЈ менаџерска функција која плански и континуирано управља свим комуникацијама предузећа према заинтересованим јавностима и на тај начин доприноси добром имицу предузећа, а чиме непосредно утиче и на његове пословне резултате. Имиц предузећа има директан утицај на запослене, док позитиван утиче на њихову мотивацију за извршењем послова и идентификацију са предузећем, негативни ствара осећај срамоте и незадовољства послом.

И поред преовлађујућег мишљења у јавности да се ОСЈ искључиво баве односима с медијима, што и јесу њена најважнија активност, међу њихове кључне активности јесу и целокупна екстерна комуникација, чији су медији саставни део, корпоративни идентитет, интерна и комуникација у кризним ситуацијама, а које све пресудно утичу на имиџ предузећа у јавности.

Управо зато ОСЈ мора бити поверено успостављање, руковођење и контрола целокупним процесом екстерне комуникације, односно дефинисање стратегије екстерног комуницирања, дефинисање врста јавности, начина комуникације са сваком од њих, дефинисање пословне кореспонденције, предлагање интерних правилника које дефинишу екстерну комуникацију, праћење њихове примене и откривање „уских грла“ у комуникацији, испитивање задовољства корисника оствареном комуникацијом, евалуација остварене комуникације и давање предлога за њено унапређење.

Најбољи резултати екстерне комуникације постижу се када је укључен што мањи број посредника у доношењу одлука, односно кад постоји непосредна и стална комуникација ОСЈ са директором предузећа, присуство свим кључним састанцима управљачког менаџмента, а нарочито када су ОСЈ и сами његов део.

На основу наведеног битно је нагласити да све у раду наведене активности предузећа на успостављању ефикасне екстерне комуникације, јесу у ствари активности у надлежности ОСЈ које се доносе и спроводе уз сагласност директора предузећа. То недвосмислено указује на значај који имају ОСЈ не само на успостављању наведене комуникације, него генерално на задовољство корисника, имиџ предузећа и самим тим и на његове пословне резултате.

4. Врсте екстерне јавности

Као што је претходно наведено целокупна јавност је и корисник услуга водоводног предузећа и предузеће мора да изврши поделу јавности у односу на информације које су им потребне од предузећа, како би задовољило њихове потребе.

Поред две кључне јавности, медија и корисника, као главне врсте екстерних јавности водоводног предузећа могу се издвојити: запослени, локална самоуправа (оснивач), државне институције, месне заједнице, друштвене организације, политичке партије и други.

Медији - предузеће посебну пажњу мора посветити односима са медијима, јер они делују на промену ставова, изградњу или промену мишљења јавности и могу бити значајни савезници у изградњи и одржавању имиџа предузећа. Коректан и професионалан однос са медијима, доступност медијима, редовно

обавештавање јавности о свим кључним активностима и транспарентност свих пословних резултата, редовно и брзо одговарање на сва питања медија, брзе и тачне информације и потпуна отвореност према јавности гарант су јачања имица организације.

Предузеће са медијима комуницира путем саопштења за јавност, конференција за медије, давањем изјава и гостовањем у емисијама, слањем одговора на постављена питања, објављивањем садржаја на веб страници и друштвеним мрежама и друго.

Посебно је битна брзина и начин реаговања предузећа у кризним ситуацијама (велике хаварије, технички проблеми, финансијски проблеми, смена директора и слично) од чега у многоме зависи и његов имиц у јавности. Информације морају бити правовремене и тачне. Од искрености комуникације зависиће и расположење јавности за време, а нарочито након завршетка кризе.

У свом раду предузеће користи све расположиве врсте медија (електронске, штампане, интернет медије, радио) јер само на тај начин може да обезбеди да целокупна јавност добије потребну информацију.

Корисници – предузеће дефинише мере које ће у складу са постојећим законским одредбама (пре свега Законом о заштити потрошача) и примерима добре праксе успоставити високе стандарде у раду са корисницима у целом предузећу, контролише спровођење и примену дефинисаних мера и кроз испитивање задовољства корисника пруженим услугама и оствареним каналима комуникације поменуте мере унапређује.

Кључна комуникација са корисницима и преношење свих потребних информација (сервисних, о активностима предузећа, финансијским резултатима, подношењу захтева и рекламација и друго) остварује се путем медија, веб странице предузећа, друштвених мрежа, личним контактом у просторијама предузећа и на терену, бесплатне инфо линије и осталих успостављених телефонских линија, путем корисничке мејл адресе, путем огласних табли у седишту предузећа и на наплатним местима, путем Инфо пулта у Корисничком центру, шалтера за пријем рекламација и захтева, путем информативног материјала у виду брошура и летака и слично.

Посебно треба издвојити спровођење испитивања задовољства корисника које је предузеће у обавези да спроведе бар једанпут годишње, када анкетирањем корисника попуњавањем анкетних листића неком од метода: од врата до врата, онлајн путем сајта и друштвених мрежа, путем штандова на прометним местима, у истуреним пословним објектима (наплатна места, кориснички центри и сл.) и месним заједницама, предузеће тражи мишљење од корисника о задовољству пруженим услугама и успостављеним начинима

комуникације. Тим путем добијене информације као и путем непосредног контакта, анализом примљених захтева и рекламација, анализом ставова на Интернет медијима и често постављених питања на Инфо пулту, предузеће користи како би унапредило своје услуге, повећало на тај начин задовољство корисника а самим тим и имиџ предузећа у јавности.

Запослени – добра информисаност запослених о свим аспектима рада и пословања предузећа има веома важну улогу из више разлога: ствара осећај задовољства код запослених и идентификацију са предузећем, омогућује им укљученост у све активности предузећа, омогућује им да људима са којима су у контакту ван предузећа пренесу тачне информације, а на тај начин се у великој мери сузбијају и гласине које могу нанети велику штету предузећу и код запослених створити осећај несигурности.

Локална самоуправа (оснивач) и државне институције – предузеће им доставља све законом дефинисане и све друге неопходне информације и извештаје о раду и активностима предузећа. Испуњавањем законских рокова за доставу података, брзим одговорима на поднете захтеве и редовном комуникацијом са свим институцијама у чијој је надлежности, предузеће ствара добар имиџ код доносиоца одлука и гради добре међусобне односе на обострано задовољство.

Месне заједнице – информисе их о сервисним информацијама, планираним активностима и радовима на територији за коју су оне надлежне, доставља им потребне информације и реагује на њихове поднете захтеве показујући на тај начин одговорност према друштвеној заједници.

Друштвене организације и политичке странке – предузеће у комуникацији са друштвеним организацијама омогућује планирање и реализацију њихових активности у области заштите животне средине, унапређењу живота и функционисања локалне друштвене заједнице, пружајући им потребне информације или одређену финансијску или другу врсту помоћи у складу са својим материјалним и техничким могућностима.

У комуникацији са политичким странкама, достављајући им потребне информације и прихватајући сугестије и предлоге за унапређење квалитета услуга, предузеће показује своју страначку неопредељеност и посвећеност квалитетном пружању услуга свим својим корисницима.

5. Начини екстерне комуникације

Задовољство екстерних јавности начином на који предузеће комуницира са њима, и могућности које им пружа да му се обрате, има директан утицај на имиџ организације код истих.

Начини двосмерне екстерне комуникације могу бити: усмени (лични контакт), писмени, електронском поштом (мејл), телефоном, путем Интернета. За сваку од врсте екстерне јавности предузеће дефинише један или више начина комуникације водећи рачуна да она омогући двосмерну, брзу и ефикасну размену информација.

Такође, предузеће дефинише правила пословне кореспонденције за сваки начин комуникације и води рачуна о његовој примени: љубазан и одмерен тон, представљање саговорнику пуним именом и презименом и функцијом, ношење идентификационе картице, наглашавање имена службе коју запослени представља, коришћење меморандума предузећа, потписивање сваког документа, начин обраћања за време усменог разговора и слања мејла и дописа, начин одговора кориснику на поднети захтев или рекламацију, међусобну комуникацију између запослених на истом нивоу и комуникацију са надређенима и слично.

Усмено – усмена или лична комуникација се остварује организацијом састанака у просторијама предузећа или ван њега, на шалтерима Инфо пулта и за пријем рекламација и захтева, на благајнама предузећа, пријемом корисника у просторије служби предузећа, на терену приликом извршења радних задатака, присуствовањем представника предузећа на организованим скуповима и слично.

Писмено (на папиру) – обавезна је у свим ситуацијама када је потребно сачувати „траг“ остварене комуникације, нарочито у комуникацији са локалним и државним институцијама, друштвеним организацијама и политичким странкама, приликом подношења захтева и рекламација корисника и одговора на исте, али и за комуникацију између служби у предузећу и издавање налога и радних задатака од стране менаџмента предузећа.

Писмену комуникацију предузеће користи и у комуникацији са корисницима штампајући и делећи им брошуре и летке. Такође се користи и за анкетирање корисника током испитивања задовољства услугама предузећа.

Електронска пошта (мејл) – овај савремени и општеприхваћени начин комуникације омогућава брзу размену информација са свим екстерним јавностима у сваком моменту без обзира на радно време, што га чини одличним средством комуникације, економичним јер штеди папир и сигурним јер оставља писмени „траг“ комуникације.

Предузеће мора поседовати званичну мејл адресу за пословну комуникацију, као и корисничку мејл адресу која ће служити за питања корисника и достављање захтева и рекламација. Комуникација електронском поштом

посебно се показала ефикасном у комуникацији са корисницима, али и другим јавностима за време епидемије коронавируса и забране кретања и боравка у затвореним просторијама.

Телефоном – овај начин комуникације са спољним јавностима успоставља се путем бесплатне корисничке инфо линије, као и путем осталих телефонских линија служби предузећа. Погодан је и за прослеђивање оперативних информација између запослених у предузећу. За комуникацију са екстерним јавностима могуће је користити и апликације за слање порука у виду СМС-а или вајбер група.

Путем Интернета – Интернет омогућава више опција комуникација са екстерним јавностима, а кључне су путем веб странице предузећа и друштвених мрежа. Предузеће за потребе информисања и медија и целокупне екстерне јавности мора имати своју веб страницу (сајт), јер пружа могућност објављивања свих жељених и јавности потребних информација (сервисне информације, финансијски изештаји, пословање и активности предузећа и бројне друге) и свих саопштења за јавност у целисти, у односу на корекције уредника пре објављивања у медијима, а медијима пружа могућност лакшег приступа потребним информацијама и објављивања истих без додатне сагласности предузећа.

Пожељно је користити и друштвене мреже јер пружају могућност лаког информисања великог аудиторијума за врло кратко време, али и непосредну комуникацију са корисницима. Веома је важно да предузеће изабере једну или више друштвених мрежа на начин да му омогући контакт са циљним јавностима, притом водећи рачуна да њихово управљање повери запосленима који су обучени да користе исте и да одговарају на питања корисника.

Присуство на интернету може много допринети имиџу предузећа, али и урушити га уколико се друштвеним мрежама не управља професионално. Предузеће својим медијима на интернету мора управљати у складу са стратегијом екстерног комуницирања и плански.

Поред наведених начина комуникације, предузеће комуницира са својим екстерним јавностима и невербалним методама које могу имати велики утицај на задовољство корисника и на имиџ предузећа.

У питању су елементи корпоративног идентитета, односно начин на који се предузеће препознаје, а на основу којих јавности стичу први утисак о предузећу и формирају слику о њему. Неки од њих су: логотип, боје, изглед идентификационих картица и визит карти, униформе запослених и заштитна опрема, понашање запослених, изглед зграда и објеката, уређење канцеларија

и пословног простора, изглед пословних возила, изглед рачуна за пружене услуге, штампане ствари (меморандум, канцеларијски материјал, роковници, огласи, рекламни материјал...), изглед и садржај сајта предузећа и објава на друштвеним мрежама и огласним таблама и друго.

На задовољство корисника може утицати и то да ли им је омогућена комуникације са предузећем ван радног времена, могућност да своје послове са предузећем обаве на даљину, могућност да све обавезе обаве на једном месту и без „шетања“ по канцеларијама, могућност електронске доставе рачуна за услуге и могућност електронског плаћања истог и слично.

6. Закључак

Екстерна комуникација обухвата комуникацију са заинтересованим јавностима ван предузећа, а у центар својих активности ставља корисника услуга и његово задовољство.

Да би ниво остварене комуникације са свим екстерним јавностима био на високом нивоу, предузеће мора сегментирати своје јавности према њиховим потребама, за сваку од јавности утврдити начин двосмерне комуникације, дефинисати правила пословне кореспонденције и контролисати њихову примену.

Две најважније јавности, које притом директно и највише утичу на имиџ предузећа и којима треба посветити посебну пажњу, јесу корисници и медији. Екстерна комуникација мора бити планска, стратешки дефинисана, обједињена и њоме се мора управљати из једног центра.

Успостављање, руковођење и контрола целокупног процеса екстерне комуникације мора бити поверена односима с јавношћу, као једна од њених кључних активности, која у њеном спровођењу мора имати подршку и непосредан контакт са директором предузећа. Најбољи резултати се постижу уколико су ОСЈ саставни део управљачког менаџмента предузећа.

Добро успостављеном екстерном комуникацијом предузеће континуирано и двосмерно комуницира са јавностима, пружа све потребне информације, кроз повратне информације испитује њихово задовољство пруженим услугама и добијене резултате имплементира у стратешке планове како би услуге прилагодило њиховим потребама и тиме их укључило у процес одлучивања.

На тај начин предузеће директно утиче на задовољство корисника услуга, имиџ у јавности и своје пословне резултате.

7. Литература

- [1] Николић М, *Односи с јавношћу*, Универзитет у Новоме Саду, Технички факултет „Михајло Пупин“, Зрењанин, 2012.
- [2] Катлип С. М, Сентер А. Х, Брум Г. М, *Успешни односи с јавношћу*, девето издање, Службени гласник, Београд, 2006.

ПРИМЕНА МАГНЕТНОГ УГЉЕНИЧНОГ НАНОКОМПОЗИТА ЗА УКЛАЊАЊЕ АРСЕНА И ОДАБРАНИХ ТЕШКИХ МЕТАЛА У ТРЕТМАНУ ВОДА

THE UTILIZATION OF MAGNETIC CARBON-BASED NANOCOMPOSITE FOR REMOVING ARSENIC AND SELECTED HEAVY METALS IN WATER TREATMENT

ЈОВАНА ЈОКИЋ ГОВЕДАРИЦА¹

ЈОВАНА ПЕШИЋ²

ТАЈАНА СИМЕТИЋ³ МАЛКОЛМ ВОТСОН⁴

ЈЕЛЕНА МОЛНАР ЈАЗИЋ⁵ ЈАСМИНА АГБАБА⁶ ЈАСМИНА НИКИЋ⁷

Оригинални научни рад

DOI: 10.5937/VIK24107J

Резиме: У раду су приказани резултати уклањања арсена и тешких метала из воде адсорпцијом на активном угљу модификованом наночестицама магнетита. Утицај најзначајнијих параметара на адсорпцију арсена и тешких метала, укључујући време контакта и почетну концентрацију метала, испитан је у шаржном систему на синтети-

¹ Јована Јокић Говедарица, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине, Трг Доситеја Обрадовића 3 Нови Сад, jovanaj@dh.uns.ac.rs, ORCID: 0000-0002-4271-0129

² Јована Пешић, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине, Трг Доситеја Обрадовића 3, Нови Сад, jovana.pesic@dh.uns.ac.rs, ORCID: 0000-0001-7068-2770

³ Тајана Симетић, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине, Трг Доситеја Обрадовића 3, Нови Сад, tajana.djurkic@dh.uns.ac.rs, ORCID: 0000-0002-0923-7034

⁴ Малколм Вотсон, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине, Трг Доситеја Обрадовића 3 Нови Сад, malcolm.watson@dh.uns.ac.rs, ORCID: 0000-0003-3810-6591

⁵ Јелена Молнар Јазић, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине, Трг Доситеја Обрадовића 3 Нови Сад, jelena.molnar@dh.uns.ac.rs, ORCID: 0000-0002-8696-7647

⁶ Јасмина Агбаба, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине, Трг Доситеја Обрадовића 3, Нови Сад, jasmina.agbaba@dh.uns.ac.rs ORCID: 0000-0002-9915-2885

⁷ Јасмина Никић, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине, Трг Доситеја Обрадовића 3, Нови Сад, jasmina.nikic@dh.uns.ac.rs ORCID: 0000-0002-0283-4303

чком воденом матриксу. Установљено је да процесом адсорпције брзина уклањања арсена и тешких метала на магнетном активном угљу опада у низу: Cr(VI) > As(V) > Cd(II). Адсорпциони капацитет адсорбента опада на следећи начин: As(V) 10,1 (mg/g)/(mg/l)ⁿ > Cr(VI) 2,39 (mg/g)/(mg/l)ⁿ > Cd(II) 0,787 (mg/g)/(mg/l)ⁿ. Висок капацитет уклањања метала, могућност једноставне сепарације и рецикулације, указују на потенцијал примене испитиваног материјала у третману вода.

Кључне речи: арсен, тешки метали, адсорпција, угљенични нанокompозити

Abstract: The paper presents the results of arsenic and heavy metals removal from water by adsorption on activated carbon modified with magnetite nanoparticles. The influence of the most significant parameters on the adsorption of arsenic and heavy metals, including contact time and initial metal concentration, was investigated in a batch system on a synthetic water matrix. It was found that during the adsorption process, the removal rate of arsenic and heavy metals on magnetic activated carbon decreases in the following order: Cr(VI) > As(V) > Cd(II). The adsorption capacity of the adsorbent decreases as follows: As(V) 10.1 (mg/g)/(mg/l)ⁿ > Cr(VI) 2.39 (mg/g)/(mg/l)ⁿ > Cd(II) 0.787 (mg/g)/(mg/l)ⁿ. The high metal removal capacity, possibility of simple separation, and recirculation indicate the material potential application in water treatment.

Key Words: arsenic, heavy metals, adsorption, carbon-based nanocomposite

1. Увод

Вода је један од највреднијих ресурса, али је мање од 1% доступно за људску употребу. Са порастом становништва и индустријализацијом, притисак на водне ресурсе расте, доводећи до прекомерне експлоатације и смањења расположивих ресурса пијаће воде. Овај изазов угрожава одрживо управљање водом, док загађење арсеном и тешким металима додатно угрожава квалитет ресурса за водоснабдевање, здравље људи и животну средину.

Присуство арсена у подземним водама које се користе за водоснабдевање резултат је сложених биолошких и геохемијских процеса, али значајан допринос имају и различите антропогене активности. Неконтролисано испуштање комуналних и индустријских отпадних вода, сагоревање фосилних горива, експлоатација руда и интензивна пољопривредна активност представљају важне факторе који доводе до повећања концентрација арсена и тешких метала у водним ресурсима [1].

Доспевајући у водотокове, ови полутанти се могу лако акумулирати у воденим организмима, чиме се повећава ризик од њиховог уласка у ланац исхране и напослетку, индиректног или директног, негативног утицаја на људско здравље. На пример, хронична изложеност арсену и хрому преко пијаће воде може довести до рака, док кадмијум може узроковати нефролошке и кардиоваскуларне проблеме [2].

У циљу превенције и унапређења људског здравља, законодавство у области воде тежи да максимално смањи вредности за максимално дозвољене концентрације арсена и тешких метала. Према препорукама Светске здравствене организације (eng. World Health Organization, WHO), максимално дозвољене концентрације за As, Cr и Cd у води за пиће су 0,01, 0,05 и 0,003 mg/l, што је утицало и на ограничавање њихових емисија у индустријским отпадним водама у распону од 0,01 до 0,5 mg/l (WHO, 2017; EU, 2016;2017). С обзиром на ове ниске прописане вредности, наглашава се потреба за применом адекватних техника у третману вода које осигуравају заштиту здравља.

За уклањање арсена и тешких метала из воде користе се различите технике као што су хемијска преципитација, адсорпција, мембрански процеси и јонска измена. Адсорпција се истиче као ефикасан процес због ниских трошкова, поузданости и еколошке прихватљивости. Наноматеријали, посебно угљенични, препознати су као перспективни адсорбенти, због својих јединствених физичко-хемијских, механичких, термалних и електричних особина [6].

Међутим, ниска селективност и хидрофилност, али и мали адсорпциони капацитет ових материјала за поједине тешке метале и арсен, ограничавају њихову примену у третману вода. Из тог разлога, угљенични наноматеријали (активни угаљ, биоугаљ, графен оксид, угљеничне наноцеви и наноижице) су почели да се модификују са магнетним наночестицама (нпр. магнетит или магемит) при чему су добијени различити магнетни угљенични наноконтрополи [7]. Осим побољшања у погледу адсорпционог капацитета, магнетне наночестице у структури ових материјала, доприносе брзом и ефикасном издвајању наноконтрополи из воде, једноставној регенерацији и поновној употреби [8].

У овом раду испитиван је адсорпциони потенцијал магнетног активног угља за уклањање одабраних тешких метала, Cr(VI) и Cd(II) и металоида As(V) из водених раствора. Специфични циљ је био усмерен на испитивање утицаја времена контакта и почетне концентрације Cr(VI) и Cd(II) и металоида As(V) на ефикасност њиховог уклањања применом магнетног активног угља (MAC) у контролисаним условима у лабораторији. Добијени подаци су анализирани и моделовани применом различитих математичких модела како би се одредили адсорпциони капацитет MAC према поменутиим металима и арсену и механизми њиховог уклањања из воде.

2. Материјал и методе

2.1. Магнетни активни угаљ (MAC)

Магнетни активни угаљ (енг. magnetic activated carbon, MAC) који је примењен у овом раду добијен је облагањем комерцијалног активног угља у

праху (NoritW35), са наночестицама магнетита. Поступак облагања активног угља је изведен у једном степену, конвенционалном преципитационом методом, додавањем NaOH у раствор соли гвожђа (молски однос $Fe^{3+}:Fe^{2+}=2:1$).

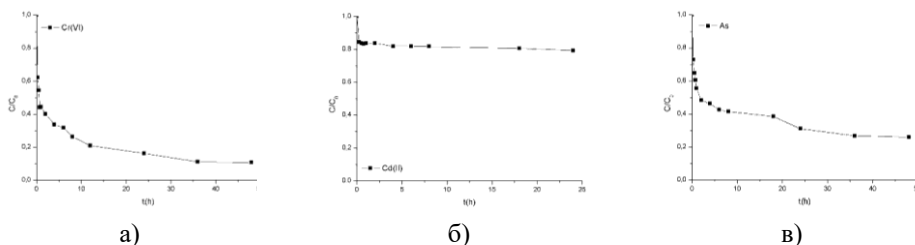
2.2. Адсорпциони експерименти у шаржном систему

Испитивање утицаја времена контакта на адсорпцију Cr(VI), Cd(II) и/или As(V) на MAC спроведено је у једнокомпонентном шаржном систему на следећи начин: у вијале од 40 ml, на аналитичкој ваги одмерено је по $5\pm 0,2$ mg адсорбента након чега је у исте додато и 30 ml синтетичког воденог матрикса који је садржао Cr(VI), Cd(II) и/или As(V) ($C_0 = 1$ mg/l, $pH=7\pm 0,2$). Вијали са суспензијама су након одмеравања постављени на мешалицу (ИКА Werke KS501) на 180 obr/min. По истеку одређених временских интервала (0,25 h, 0,5 h, 0,7 h, 1 h, 2 h, 4 h, 6 h, 8 h, 12 h, 24 h, 36 h, 48 h), супернатанти су одвојени од адсорбената применом магнета. Узорци су даље закишељени са концентрованој киселином HNO_3 ($pH < 2$) и анализирани на садржај Cr(VI) односно Cd(II) и As(V). Утицај почетне концентрације Cr(VI), Cd(II) и/или As(V) на њихово уклањање из воде применом MAC испитиван је на горе описан начин (доза MAC од $5,0\pm 0,2$ mg; $pH=7\pm 0,2$, 24h) с тим што су почетне концентрације Cr(VI), Cd(II) и/или As(V) вариране у опсегу 0,1 -1 до 10 mg/l. Садржај Cr(VI), Cd(II) и/или As(V) у узорцима је пре и након третмана одређен на индуковано спрегнутој плазми са масеним детектором (Agilent Technologies 7700 Series ICP-MS). Детекциони лимит методе (MDL) за Cr(VI), Cd(II) и As износили су 0,001 mg/l респективно.

3. Резултати и дискусија

3.1. Адсорпциона кинетика Cr(VI), Cd(II) и As на MAC

У циљу одређивања времена потребног за успостављање адсорпционо-десорпционе равнотеже, брзина адсорпције је праћена током 24 h (Cd(II)) односно 48h (Cr(VI) и As(V)), у оквиру којих су узорци узимани у одређеним временским интервалима. Добијени резултати приказани су на слици 1.

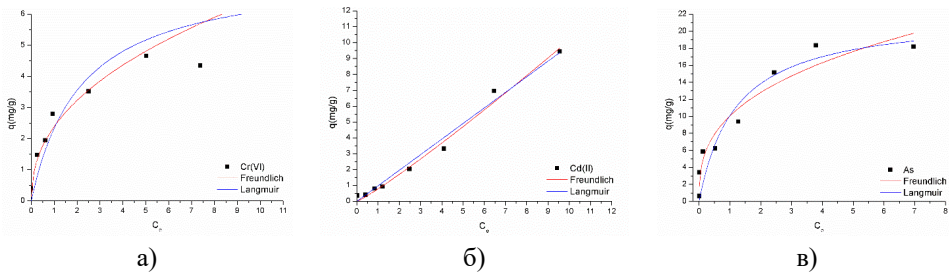


Слика 1. Адсорпциона кинетика а) Cr(VI) б) Cd(II) в) As(V) на MAC
Figure 1. Adsorption kinetics of: a) Cr(VI) b) Cd(II) c) As(V) on MAC

У свим посматраним случајевима, уочено је да се уклањање одабраних метала и арсена на МАС одвија у две фазе: брзе и спорије. У случају Cr(VI) и As(V) током брзе фазе која је трајала 4 сата, уклоњено је 59 односно 52% Cr(VI) и As(V), респективно (слика 1а и 1в). Након овог периода па до посматраних 48 сати, уследила је спорија адсорпција Cr(VI) и As(V) на МАС, при чему се адсорпциона равнотежа ових полутанта на МАС успоставила након 36 односно 24 сата контакта. Релативно дуго време потребно за успостављање равнотеже сугерише да кинетика адсорпције As(V) и Cr(VI) зависи од више процеса различитих физичких порекла, као што су дифузија кроз филм, површинске интеракције и дифузија унутар честица [9]. Ефикасност уклањања Cr(VI) и As(V) је на крају процеса износила 89% односно 74%, респективно. У општем случају, главни разлог за већи степен уклањања Cr(VI) и As(V) на почетку адсорпционог процеса је расположивост великог броја активних места, која се током времена попуњавају, тежећи стању равнотеже. Када се постигне стање равнотеже количина адсорбованог метала расте без већег значаја или пак остаје иста [9] За разлику од Cr(VI) и As(V), адсорпција Cd(II) на МАС је била нефаворизована обзиром да је током посматраних 24 сата уклоњено свега 20% овог метала (слика 1б).

3.2. Адсорпционе изотерме Cr(VI), Cd(II) и As на МАС

Испитивање афинитета адсорпције МАС за Cr(VI), Cd(II) и As(V) вршено је применом шаржних експеримената, у равнотежним условима. Добијени експериментални подаци су моделовани применом Freundlich-ове и Langmuir-ове адсорпционе изотерме (слика 2), а одговарајући параметри примењених модела приказани су у табели 1.



Слика 2. Freundlich-ове и Langmuir-ове адсорпционе изотерме а) Cr(VI) б) Cd(II) в) As(V) на МАС

Figure 2. Freundlich and Langmuir adsorption isotherms а) Cr(VI) б) Cd(II) с) As(V) on MAC

Коефицијенти детерминације (R^2) добијени моделовањем података према Freundlich-овом и Langmuir-овом моделу, указују да се адсорпција Cr(VI),

Cd(II) и As(V) на MAC боље описује Freundlich-ovim моделом, што се генерално може објаснити хетерогеној површини адсорбента и вишеслојној адсорпцији. Вредности Freundlich-ovih константи, K_F , као мере афинитета за адсорпцију опадале су на следећи начин: As(V) $(10,1 \text{ (mg/g)/(mg/l)}^n) > \text{Cr(VI)} (2,39 \text{ (mg/g)/(mg/l)}^n) > \text{Cd(II)} (0,787 \text{ (mg/g)/(mg/l)}^n)$. Вредности Freundlich-ovog експонента, n су у случају адсорпције Cr(VI) и As(V) на испитиваном материјалу биле мање од 1 што указује да је адсорпција Cr(VI) и As(V) на овом материјалу била фаворизована. Насупрот томе, вредности Freundlich-ovog експонента n су биле веће од 1 што имплицира на чињеницу да адсорпција овог метала на датом угљеничном материјалу није фаворизована. Максимални адсорпциони капацитети, q_{\max} , MAC за Cr(VI), Cd(II) и As(V), који су одређени применом Langmuir-ovog модела опадају у низу: As(V) $18,58 \text{ (mg/g)/(mg/l)}^n > \text{Cr(VI)} 3,41 \text{ (mg/g)/(mg/l)}^n > \text{Cd(II)} 0,98 \text{ (mg/g)/(mg/l)}^n$, а то је у складу и са резултатима за K_F који су добијени Freundlich-ovim моделом. Вредности сепарационог фактора, R_L , важног параметра Langmuir-ove изотерме су у случају адсорпције Cr(VI) и As(V) биле мање од 1 (табела 1) што указује да је адсорпција Cr(VI) и As(V) на датом адсорбенту била фаворизована односно можемо закључити да се при ниским концентрацијама Cr(VI) и As(V) у раствору постиже висок степен адсорпције, који постепено опада како његова концентрација у раствору расте.

Табела 1. Детерминациони фактори и константе Freundlich-ovog и Langmuir-ovog модела за адсорпцију Cr(VI), Cd(II) и As(V) на MAC

Table 1. Determining factors and constants of the Freundlich and Langmuir models for the adsorption of Cr(VI), Cd(II) and As on MAC

Model	MAC		
	Cr(VI)	Cd(II)	As
Freundlich			
$K_F \text{ (mg/g)/(mg/l)}^n$	2,39	0,79	10,1
$1/n$	0,43	1,11	0,35
R^2	0,8963	0,9866	0,9288
Langmuir			
$q_{\max} \text{ (mg/g)}$	3,41	0,98	18,58
K_L	0,46	4,48E-16	0,84
R_L	0,46	4,48E-16	0,84
R^2	0,8097	0,9820	0,8873

Супротно томе, код адсорпције Cd(II) на испитиваном материјалу, вредности сепарационог фактора биле су веће од 1, што указује на нефаворизован процес, а што је пак у складу и са вредностима Freundlich-ovог експонента n . Различито понашање Cr(VI), Cd(II) и As(V) на МАС може се приписати присуству различитих облика ових метала у раствору при испитиваним условима ($pH=7,02\pm 0.2$).

Наиме, Cr(VI) и As(V) су при датим условима присутни као оксианјони док је Cd(II) присутан у катјонском облику као Cd^{2+} . Имајући у виду ову чињеницу, а узимајући у обзир и наелектрисање МАС (које ће бити предмет наредних истраживања), јасно је да се механизми уклањања ових одабраних метала и арсена на МАС разликују и да у случају Cr(VI) укључују и редокс реакцију.

4. Закључак

У овом раду адсорпција Cr(VI), Cd(II) и As(V) на магнетном активном угљу (МАС), испитивана је у шаржном систему, посредством кинетичких експеримената, док је адсорпциони капацитет МАС, одређен применом адсорпционих изотерми и одговарајућих математичких модела.

Кинетичким експериментима је установљено да се адсорпциона равнотежа Cd(II) и As(V) успоставља након 24 h односно 36 h у случају Cr(VI), указујући да је кинетика посматраних метала и арсена ограничена деловањем више процеса, као што су површинске интеракције или дифузија унутар пора различитих димензија. Подаци добијени конструисањем изотерми, показали су да се адсорпција Cr(VI), Cd(II) и As(V) на МАС, боље описује Freundlich-ovим моделом. Вредности Freundlich-ovих константи, K_F , као мере афинитета за адсорпцију опадале су у низу: As(V) > Cr(VI) > Cd(II).

Даља истраживања усмериће се на детаљнију карактеризацију МАС, као и опсежнија испитивања утицаја фактора релевантних за адсорпцију арсена и ових метала (pH вредности, јонске јачине, конкуритивних јона), као и механизма уклањања ових метала на МАС, укључујући и испитивања у динамичком систему на реалним узорцима воде контаминираним овим полутантима.

5. Захвалница

Истраживање је финансирао Покрајински секретеријат за високо образовање и научноистраживачку делатност, Аутономне покрајине Војводине (назив пројекта: *Савремена решења за третман вода: магнетни угљенични нанокмозити*; Ев. број: 000872601 2024 09418 003 000 000 001 04 002)

6. Литература

- [1] Malook K, Khan H. Removal of Cd(II) from water using zero valent iron/copper functionalized spent tea. *Water Science and Technology*, 82, 2552-2561, 2020.
- [2] Budi H. S, Catalan Opulencia, M. J, Afra A, Abdelbasset W. K, Abdullaev D, Majdi A, Taherian M, Ekrami H. A, Mohammadi M. J. Source, toxicity and carcinogenic health risk assessment of heavy metals. *Reviews on Environmental Health*, 39, 77-90, 2024.
- [3] WHO. *Guidelines for Drinking-Water Quality: Fourth Edition Incorporating the First Addendum*; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2017.
- [4] EU. 2016. European Commission Implementing Decision (EU) 2016/1032 of 13 June 2016 Establishing Best Available Techniques (BAT) Conclusions, Under Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council, for the Non-Ferrous Metals Industries. Off. J. Eur. Union 32–106. <http://www.legislation.gov.uk/eudn/2016/1032> (accessed on 2 July 2024).
- [5] EU. 2017. European Commission Implementing Decision (EU) 2017/1442 of 31 July 2017 Establishing Best Available Techniques (BAT) Conclusions, Under Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council, for Large Combustion Plants. Off. J. Eur. Union. Available Online: <http://www.legislation.gov.uk/eudn/2017/1442> (accessed on 2 July 2024).
- [6] Duan C, Ma T, Wang J, Zhou Y. Removal of Heavy Metals from Aqueous Solution Using Carbon-Based Adsorbents: A Review. *Journal of Water Process Engineering*, 37, 101339, 2020.
- [7] Nikić J, Watson M, Tubić A, Šolić M, Agbaba J. Recent trends in the application of magnetic nanocomposites for heavy metals removal from water: A review. *Separation Science and Technology*, DOI: 10.1080/01496395.2024.2315626, 2024.
- [8] Burbano A. A, Lassalle V. L, Horst M. F, Gascó G, Méndez A. The effect of carbon coating on the arsenite sorption by magnetic carbon nanocomposites. *International Journal of Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13762-024-05924-x>, 2024.
- [9] Šolić M, Maletić S, Kragulj Isakovski M, Nikić J, Watson M, Kónya Z, Tričković J. Comparing the Adsorption Performance of Multiwalled Carbon Nanotubes Oxidized by Varying Degrees for Removal of Low Levels of Copper, Nickel and Chromium(VI) from Aqueous Solutions. *Water*, 12, 723, 2020.

**УКЛАЊАЊЕ ВИНИЛ ХЛОРИДА ИЗ ВОДЕ ПРИМЕНОМ
ОЗОНИЗАЦИЈЕ И СОРПЦИЈЕ НА ГРАНУЛОВАНОМ
АКТИВНОМ УГЉУ**

**REMOVAL OF VINYL CHLORIDE FROM WATER USING
OZONATION AND SORPTION ON GRANULAR ACTIVATED
CARBON**

ТАЈАНА СИМЕТИЋ¹

ЈАСМИНА НИКИЋ²

ЈЕЛЕНА МОЛНАР ЈАЗИЋ³ СЛАВЕН ТЕНОДИ⁴

МАРИЈАНА КРАГУЉ ИСАКОВСКИ⁵

СРЂАН РОНЧЕВИЋ⁶ ЈАСМИНА АГБАБА⁷

Оригинални научни рад

DOI: 10.5937/VIK24115S

Резиме: Винил хлорид припада групи хлорованих лако испарљивих угљоводоника, који се користи као мономер у производњи поливинил хлорида, једног од најчешће коришћених пластичних материјала. Осим примене у индустрији, винилхлорид се

¹ Тајана Симетић, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине, Трг Доситеја Обрадовића 3, Нови Сад, tajana.djurkic@dh.uns.ac.rs; ORCID: 0000-0002-0923-7034

² Јасмина Никић, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине, Трг Доситеја Обрадовића 3, Нови Сад, jasmina.nikic@dh.uns.ac.rs; ORCID: 0000-0002-0283-4303

³ Јелена Молнар Јазић, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине, Трг Доситеја Обрадовића 3, Нови Сад, jelena.molnar@dh.uns.ac.rs; ORCID: 0000-0002-8696-7647

⁴ Славен Теноди, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине, Трг Доситеја Обрадовића 3, Нови Сад, slaven.tenodi@dh.uns.ac.rs; ORCID: 0000-0002-8073-8915

⁵ Маријана Крагуљ Исаковски, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине, Трг Доситеја Обрадовића 3, Нови Сад, marijana.kragulj@dh.uns.ac.rs; ORCID: 0000-0002-6880-6735

⁶ Срђан Рончевић, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине, Трг Доситеја Обрадовића 3, Нови Сад, srdjan.roncevic@dh.uns.ac.rs; ORCID: 0000-0001-8698-4204

⁷ Јасмина Агбаба, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине, Трг Доситеја Обрадовића 3, Нови Сад, jasmina.agbaba@dh.uns.ac.rs; ORCID: 0000-0002-9915-2885

може детектовати у подземној води као производ деградације трихлоретена и тетрахлоретена. У раду су приказани резултати испитивања ефикасности оксидације озоном и сорпције на гранулованом активном угљу (ГАУ) примењених за уклањање винил хлорида из синтетичке и подземне воде. Утврђено је да се знатно ефикаснија разградња винил хлорида процесом озонизације постиже у синтетичкој води без присуства интерферирајућих јона у односу на подземну воду. Примена ГАУ филтрације омогућава ефикасно уклањање резидуала овог полутанта из воде ($<0,5 \mu\text{g/l}$). Комбиновање оксидационих и сорпционих третмана у припреми воде за пиће представља важну стратегију ка смањењу ризика од експозиције полутантима са потенцијалним или доказаним штетним ефектима по људско здравље.

Кључне речи: винил хлорид, подземна вода, озонизација, адсорпција

Abstract: Vinyl chloride belongs to the group of chlorinated volatile hydrocarbons, which is used as a monomer in the production of polyvinyl chloride, one of the most commonly used plastic materials. In addition to its industrial applications, vinyl chloride can also occur in groundwater as a degradation product of trichloroethylene and tetrachloroethylene. This paper presents the results of investigating the efficiency of ozone oxidation and sorption on granular activated carbon (GAC) applied for the removal of vinyl chloride from synthetic water and groundwater. It was found that significantly more efficient degradation of vinyl chloride by the ozonation is achieved in synthetic water in the absence of interfering ions compared to groundwater. The application of GAC filtration enables the effective removal of pollutant residual from water ($<0.5 \mu\text{g/l}$). Combining oxidation and sorption processes in drinking water treatment is an important strategy for reducing the risk of exposure to pollutants with potential or proven harmful effects on human health.

Key Words: vinyl chloride, groundwater, ozonation, adsorption

1. Увод

Испарљива органска једињења (енг. volatile organic compounds, VOCs) припадају групи органских загађујућих материја са тачком кључања између 50 и 260°C на собној температури и атмосферском притиску. Велике количине VOCs, укључујући алкане, алкене, алкине, ароматична једињења и једињења која садрже хетероатоме, емитују се у животну средину из различитих извора [1]. Међу њима, хлорована лако испарљива органска једињења (енг. chlorinated volatile organic compounds, CVOCs) често се користе у пољопривреди, индустрији и фармацеутским производима, карактерише их стабилна хемијска структура и висока испарљивост. CVOCs су честе загађујуће супстанце подземних вода, површинских вода, земљишта и ваздуха. Неправилно испуштање или цурење током свакодневних операција су главни узрок контаминације овим једињењима. CVOCs се споро разграђују и задржавају се у води као и у земљишту, представљајући дугорочни ризик по екосистеме и људско здравље јер се акумулирају у ланцу исхране. Винил хлорид, типичан представник CVOCs, дефинисан је као канцероген класе I од стране Међународне агенције

за истраживање рака због своје стабилности и отпорности на конвенционалне методе елиминације [2]. Такође, кључни је мономер у производњи поливинил хлорида (енг. polyvinyl chloride, PVC), полимерног хемијског производа са широком применом у индустрији као што су грађевински материјали [3]. Винил хлорид је детектован и у површинским и подземним водама, које су првобитно биле загађене хлорованим растварачима као што су тетрахлоретен (PCE) и трихлоретен (TCE), јер њихова биодеградација може резултирати накупљањем винил хлоридом [4].

Унапређени оксидациони процеси (енг. advanced oxidation processes, AOPs) су погодне технологије за уклањање органских загађујућих материја из воде, укључујући и испарљива органска једињења. Ова група процеса ефикасно оксидује органска једињења преко различитих интермедијера, а као крајњи производи разградње формирају се CO_2 , H_2O и неоргански јони. Такође, AOPs имају велики потенцијал у третману површинских и подземних вода, воде за пиће, комуналних и индустријских отпадних вода, индустријских и комуналних муљева, оцедних вода са депонија, као и у савременим процесима ремедијације загађеног земљишта [5]. Уклањање органских загађујућих материја на постројењима за третман воде за пиће тренутно је један од највећих изазова у свету. Међу најефикаснијим процесима доступним за уклањање специфичних органских загађујућих материја издвајају се озонизација и адсорпција на активном угљу [6]. Озон, као јак оксидант (2,07 V) и дезинфекциони агенс, може се једноставно генерисати *in-situ* помоћу генератора озона. У основи, озон брзо реагује са органским полутантима који садрже групе богате електронима као што су алкени, амини и ароматични прстенови. Распадом озона у води при одређеним условима формирају се хидроксилни радикали (HO^\bullet) који могу реаговати са неактивираним ароматичним једињењима, амидима и алканима. Растворена органска материја (енг. dissolved organic matter, DOM) и органски полутанти обично не подлежу потпуној минерализацији, већ се трансформишу у једињења мање молекулске масе која се називају нуспродуктима, која су већином лакше биоразградива и мање токсична. Према томе, потребна је додатна фаза третмана након озонизације, као што је филтрација на гранулованом активном угљу (ГАУ) у циљу уклањања производа трансформације, одн.оксидационих нуспроизвода. У комбинацији са адсорпцијом на ГАУ озонизација је ефикасан оксидациони предтретман за оксидацију и разградњу једињења која су отпорна на адсорпцију, као и за оксидацију DOM, како би се смањила конкуренција са органским полутантима и тиме ограничило смањење капацитета адсорпције ГАУ током времена [6, 7]. Активни угљ има високу порозност и велику специфичну површину, што га чини идеалним за адсорпцију различитих органских једињења. Овим процесом уклањају се резидуалне органске и неорганске

загађујуће материје из воде. У поређењу са бројним студијама о појави и уклањању органских загађујућих материја на постројењима за пречишћавање отпадних вода, много је мање доступних података о понашању загађујућих материја у третману воде за пиће, посебно када се узму у обзир реални услови (нпр. широк спектар органских полутаната, концентрације органских полутаната, присуство конкурентних једињења као што су DOM, процесни параметри).

Циљ овог рада је био испитивање утицаја процеса озонизације, као оксидационог предтретмана, у спрези са адсорпцијом на активном угљу за уклањања винил хлорида из синтетичке и подземне воде у виду предтретмана. Извршено је и поређење ефикасности озонизације и комбинованих процеса и извршена је евалуација утицаја воденог матрикса на ефикасност примењених третмана.

2. Експериментални део

2.1. Карактеристике водених матрикса

Ултрачиста дејонизована вода (растворени органски угљеник (енг. Dissolved organic carbon, DOC) < 0,5 mg C/l и електропроводљивост од 0,055 $\mu\text{S}/\text{cm}$) добијена помоћу система LABCONCO (Water Pro RO/PS Station, Kansas City, MO, USA) је коришћена за припрему синтетичког воденог матрикса. Синтетички водени матрикс (без додатка интерферирајућих агенаса) је обогаћен са винил хлоридом ($\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$, CAS No. 75-01-4, Supelco) тако да почетна концентрација буде око 25 $\mu\text{g}/\text{l}$.

Карактеристике подземне воде коришћене за истраживања биле су приказане у табели 1. У подземној води идентификован је хлорид у концентрацији од $20,6 \pm 2$ $\mu\text{g}/\text{l}$.

Табела 1. Физичко-хемијске карактеристике подземне воде

Table 1. Physico-chemical characteristics of groundwater

Параметар	Јединица мере	Вредност
pH	-	7,02±0,22
електропроводљивост	$\mu\text{S}/\text{cm}$	1640±66
мутноћа	NTU	60,7±11,3
UV ₂₅₄	cm^{-1}	0,28±0,02
UV ₂₇₈	cm^{-1}	0,22±0,02
SUVA	$\text{l m}^{-1} \text{mg}^{-1}$	8,08±0,13
укупан органски угљеник	mgC/l	4,05±1,6

Параметар	Јединица мере	Вредност
амонијак	mgN/l	3,02±1,38
нитрати	mgN/l	0,26±0,08
нитрити	mgN/l	0,04±0,01
ортофосфати	mgP/l	0,26±0,13
бикарбонати	mgHCO ₃ ⁻ /l	786±35
тврдоћа	mg CaCO ₃ /l	671±120
гвожђе	mg/l	27,5±11
манган	mg/l	0,3±0,06

2.2. Озонизација

Процес озонизације синтетичке и подземне воде је вршен у стакленој колони запремине 7 l, пречника 26 cm. Озон је генерисан електрохемијски из ваздуха применом генератора озона OZOMAX, који је увођен у воду кроз дифузер смештен на дну колоне. Укупна запремина воде која је озонирана износила је 6 l, при чему је након озонизације узорковање воде вршено преко славине која се налази при дну колоне. Проток озона је био 50 l/h, концентрација озона у улазном гасу $3,24 \pm 0,16$ mg/l и време третмана од 10-60 секунди у синтетичкој води, односно од 30-180 секунди у подземној води. Примењена доза озона је износила од 0,05-0,3 mg O₃/l за третман синтетичког воденог матрикса, односно од 0,2-0,9 mg O₃/l за подземну воду.

2.3. Адсорпција

За иситивање процеса адсорпције коришћен је конвенционални грануловани активни угљ (Norit® ROW 0.8 SUPRA). Специфична површина (СП) угља је мерена применом адсорпције азота на 77 K употребом анализатора за одређивање специфичне површине (Autosorb™ и Quantochrome Instruments, USA). СП је израчуната помоћу BET методе (енг. Brunauer-Emmett-Teller) и износила је 1002 m² g⁻¹. Елементарни састав (C, H, N и S) биоугља је урађен коришћењем Vario EL III CHNS Analyzer у три понављања. На основу елементарне анализе угља највећи је садржај угљеника од 94%, док је садржај H 4,52%, N 1,98 и S 0,44. Доза адсорбента за истраживање је износила 0,17 g/l.

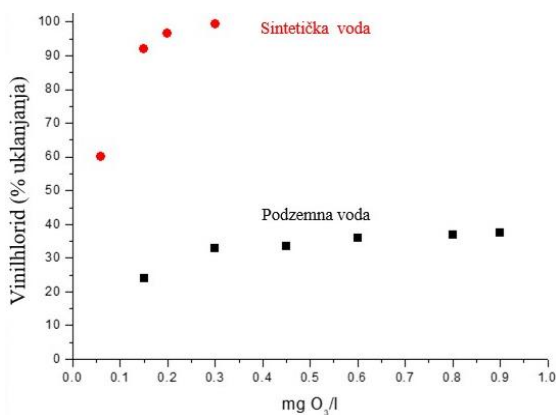
2.4. Аналитичке методе

Одређивање концентрације озона у води. Концентрација трансферованог озона је одређена на основу разлике концентрације озона у улазном и излазном гасу при нормалном притиску и температури, у складу са стандардном јодометријском методом [8].

Одређивање концентрације винил хлорида у води. Анализа винил хлорида је вршена помоћу „Purge and Trap“ система за припрему узорака (Lumin), који је директно куплован са гасним хроматографом (Agilent Technologies 7890А) са масеним детектором (Agilent Technologies 5975С). Услови „Purge and Trap“ система били су следећи: време барботирања гаса хелијума износило је 11 min, температура десорпције 250°C, време десорпције 2 min, температура одгоревања трапа 280°C у трајању од 3 min. Услови хроматографисања: почетна температура колоне износила је 35°C (5 min), потом температура расте брзином од 15°C/min до 100°C (0 min) и брзином од 25°C/min до 225°C (3 min). Температура инјектора износила је 110°C, а температура детектора 280°C, уз примену колоне DB-5MS (30 m x 0,25 mm x 0,25 μm). За анализу винил хлорида је инјектовано је 5 ml узорка водеу „Purge and Trap“ систем уз додатак интерног стандарда флуоробензена у концентрацији од 10 μg/l. калибрациони опсег је био од 0,4-25 μg/l.

3. Резултати и дискусија

Резултати испитивања утицаја озонизације на уклањање винил хлорида из синтетичког воденог узорка и подземне воде су приказани на слици 1. Испитивањима је утврђено да се знатно ефикасније уклањање винил хлорида процесом озонизације постиже у синтетичкој води без присуства интерферирајућих јона у односу на подземну воду. У синтетичкој води постигнуто је смањење концентрације винил хлорида за 98%, одн. до < 0,5 μg/l, колико је Правилником о хигијенској исправности воде за пиће дефинисана МДК.



Слика 1. Утицај процеса озонизација на уклањање винилхлорида из синтетичке и подземне воде ($C_0 \sim 25 \mu\text{g/l}$)

Figure 1. The influence of ozonization process on the removal of vinyl chloride from synthetic and groundwater ($C_0 \sim 25 \mu\text{g/l}$)

Са друге стране, применом процеса озонизације при дози $0,9 \text{ mg O}_3/\text{l}$ може се постићи максимално око 40% уклањања винил хлорида из подземне воде. Повећање концентрације озона са $0,3 \text{ mg O}_3/\text{l}$ на $0,9 \text{ mg O}_3/\text{l}$ не утиче значајније на ефикасност уклањања винил хлорида из подземне воде током озонизације. На ток озонизације значајно утиче састав воденог матрикса. Присутне супстанце могу иницирати, промовисати или инхибирати радикалске ланчане реакције.

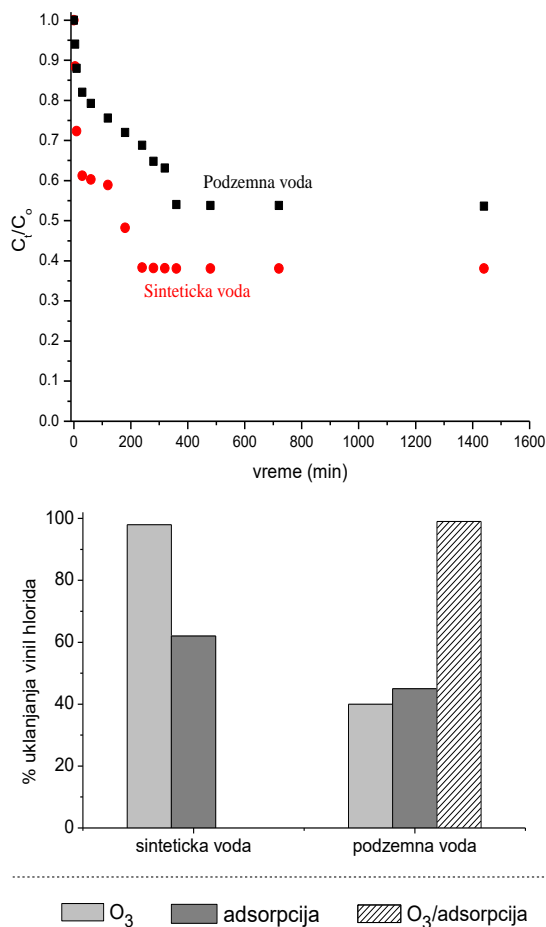
Оксидација неорганских једињења (нпр. Fe^{2+} , Mn^{2+} , H_2S , NO_2^-) озонем је обично брза и веома ефикасна. Најзначајнији изузетак је амонијак, који се полако оксидује озонем и HO^\bullet радикалима. Оксидација органских загађујућих материја се може поделити на једињења која се могу директно (веома ефикасно) оксидовати озонем и она која не реагују са озонем [9].

Дакле, добијени резултати указују да природно присутне органске и неорганске компоненте (нпр. карбонати, бикарбонати, растворена органска материја итд.) у подземној води делују као инхибитори циклуса разлагања озона, јер троше озон за своју оксидацију, а могу да се понашају и као хватачи (енг. scavengers) слободних HO^\bullet радикала.

Такође, озон има тенденцију да се брже разгради у природној води због присуства различитих растворених супстанци које катализују његову разградњу. У ултрачистој дејонизованој води, стабилност озона је већа, што му омогућава да остане активан дуже време и побољшава ефикасност процеса озонизације. На слици 2 приказани су резултати испитивања адсорпције на активном угљу у циљу уклањања винил хлорида из синтетичког и природног воденог матрикса. На основу добијених резултата примећено је да се у синтетичком воденом матриксу адсорпционо-десорпциона равнотежа успоставља за више од три сата, док у подземној води након шест сати. Ефикасност уклањања винил хлорида у синтетичком воденом матриксу износила је 62%, односно око 45% у подземној води.

Упоредјујући добијене резултате након примене саме адсорпције са претходном озонизацијом, може се закључити да се третман воде озонем показао као знатно ефикаснији у уклањању винил хлорида у оба водена матрикса.

Ово запажање указује на чињеницу да коефицијент расподеле октанол-вода ($\log K_{ow}$) утиче на адсорпцију, али није свеобухватни предиктор перформанси адсорпције. Такође је и површинско наелектрисање кључно када се бира одговарајући активни угаљ за уклањање органских једињења. Винил хлорид има низак $\log K_{ow}$ од 1,38 што уједно указује да има умерен афинитет према активном угљу [10].



Слика 2. Утицај процеса адсорпције на уклањање винилхлорида из синтетичке и подземне воде ($C_0 \sim 25 \mu\text{g/l}$)

Figure 2. The influence of the adsorption process on the removal of vinyl chloride from synthetic and groundwater ($C_0 \sim 25 \mu\text{g/l}$)

Нижа ефикасност уклањања винил хлорида из подземне воде може се приписати и утицају комплексности воденог матрикса. Наиме, други конституенти у подземној води могу ступати у реакције компетиције за места на површини активног угља што резултује смањеној ефикасности адсорпције циљног једињења.

Након примене појединачних третмана, уследило је испитивана ефикасност примене комбинованих третмана озонизације и ГАУ филтрације на уклањање винил хлорида из подземне воде. Применом дозе озона од 0,9 mg

O₃/l винил хлорид се делимично разградио, а након ГАУ филтрације резидуал винил хлорида је износио <0,5 µg/l. Током процеса озонизације дошло је до оксидације органских материја заступљених у води, чиме је омогућена лакша адсорпција на активном угљу.

4. Закључак

Озонизација, као оксидациони предtretман, показала се ефикасна у уклањању винил хлорида (98%; при дози од 0,3 mg O₃/l) из синтетичког воденог матрикса. Забележен је значај утицај воденог матрикса на ефикасност уклањања винил хлорида (40-45%) из подземне воде током саме озонизације и адсорпције.

Међутим, уколико се озонизација комбинује са ГАУ за третман подземне воде, тада се генерално могу уклонити настали нуспродукти и заостали резидуал винил хлорида (<0,5 µg/l).

4. Захвалница

Истраживања су финансирана од стране Министарства за науку, технолошки развој и иновације Републике Србије у оквиру EUREKA програма (SAFEWAT 17243 EUREKA пројекат).

5. Литература

- [1] Lin F, Zhiman Z, Na L, Yan B, Hao Z, Chen G. How to Achieve Complete Elimination of Cl-VOCs: A Critical Review on Byproducts Formation and Inhibition Strategies during Catalytic Oxidation, *Chemical Engineering Journal* 404, 126534, 2020.
- [2] Li M, Wang Y, Ding M, Zhan W, Wang L, Dai Q, Guo Y, Wang A, Guo Y. Effect of Cu modification to Ru/HZSM-5 catalysts on the catalytic combustion of vinyl chloride, *Catalysis Science and Technology* 14, 3150-3159, 2024.
- [3] Xian J, Mu M, Wang S, Yu G, Dai C. Vinyl chloride capture by ionic liquids: Structural effects and molecular thermodynamic insights, *Journal of Molecular Liquids* 403 (2024) 124862.
- [4] Liu X, Yoon S, Batchelor B, Abdel-Wahab A. Degradation of vinyl chloride (VC) by the sulfite/UV advanced reduction process (ARP): Effects of process variables and a kinetic model, *Science of the Total Environment* 454-455 578-583, 2013.
- [5] Dhamorikar R. S, Lade V. G, Kewalramani P. V, Bindwal A. B. Review on integrated advanced oxidation processes for water and wastewater treatment, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 138, 104-122, 2024.

- [6] Cantoni B, Ianes J, Bertolo B, Ziccardi S, Maffini F, Antonelli M. Adsorption on activated carbon combined with ozonation for the removal of contaminants of emerging concern in drinking water, *Journal of Environmental Management*, 350 119537, 2024.
- [7] Guillosoou R, Roux J. L, Brosillon S, Mailler R, Vulliet E, Morlay C, Nauleau F, Rocher V. Benefits of ozonation before activated carbon adsorption for the removal of organic micropollutants from wastewater effluents, *Chemosphere* 245, 125530. 2020.
- [8] APHA - AWWA – WPCF, *Standard methods for the examination of water and wastewater*, American Public Health Association, Washington, 1998.
- [9] Derco J, Žgajnar Gotvajn A, Čižmárová O, Dudáš J, Sumegová L, Šimovičová K. Removal of Micropollutants by Ozone-Based Processes, *Processes* 9, 1013, 2021.
- [10] Chapter 3: Vinyl chloride and polyvinyl chloride. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 20 (1), S126-S159, 1994.

МОНИТОРИНГ ПОВРШИНСКЕ ВОДЕ АКУМУЛАЦИЈЕ „ГРУЖА“ ЗА ПЕРИОД 2014-2024. ГОДИНА

MONITORING OF THE SURFACE WATER OF THE „GRUŽA“ RESERVOIR FOR THE PERIOD 2014-2024. YEAR

ГОРАН ГАВРИЛОВИЋ¹

Прегледни стручни рад
DOI: 10.5937/VIK24125G

Резиме: Још од 1818. године, када је Крагујевац постао престоница ослобођене Србије, у њему се јавља повећана потреба за водом. Од тада па до 1984. године Крагујевац је био једини град који је деценијама решавао питање снабдевања водом са најразноврснијим могућностима, а да при томе није решен проблем снабдевања водом за пиће на дужи временски период. Град Крагујевац је коначно изградњом акумулације „Гружа“ и постројењем одмах испод бране коначно добио трајно решен проблем снабдевања водом. Квалитет воде у самој акумулацији „Гружа“ се непрестано прати и контролише од стране више лабораторија: погонске лабораторије на самом постројењу, централне лабораторије самог предузећа ЈКП „Водовод и канализација“, Института за јавно здравље Крагујевац, Агенције за заштиту животне средине као и других заинтересованих страна. У овом раду биће описан квалитет површинске воде акумулације „Гружа“ за период 2014-2024. година.

Кључне речи: површинска вода, акумулација „Гружа“, квалитет воде

Abstract: Ever since 1818, there has been an increased need for water in Kragujevac, when it became the capital of liberated Serbia. From then until 1984, Kragujevac was the only city that for decades solved the issue of water supply with the most diverse possibilities, without solving the problem of supplying drinking water for a long period of time. The city of Kragujevac finally got a permanent solution to its water supply problem with the construction of the „Gruža“ lake and the plant immediately below the dam. The quality of the water in the „Gruža“ lake itself is constantly monitored and controlled by several laboratories: the operating laboratory at the plant itself, the central laboratory of the PUC „Water Supply and Sewerage“ company itself, the Kragujevac Public Health Institute, the Environmental Protection Agency, as well as other interested parties. side. This paper will describe the quality of surface water of „Gruža“ lake in the period from 2014 to 2024.

Key Words: surface water, „Gruža“ lake, water quality.

¹ Горан Гавриловић, ЈКП „Водовод и канализација“ Краља Александра I Карађорђевића 48, Крагујевац, gorangsm@mts.rs, ORCID: 0009-0007-0487-2008

1. Увод

„Снабдевање водом града Крагујевца постало је на неки начин легенда... Кроз дуги низ година, живећи у сталној неизвесности да ли ће воде бити довољно, код становника... створена је опсесија жеђи, а Крагујевац је постао синоним за насеља која су нередовно снабдевана водом“ [1].

Крагујевац, град на реци Лепеници, први пут је историјски споменут 1476. године. Од 1818. године, када је постао престоница ослобођене Србије, јавља се повећана потреба за водом. Од идеје и пројекта из 1882. године да се преведе вода каналом из Ибра и Западне Мораве преко Груже у Лепеницу, изградњом Трмбаског водовода, акумулације и бране на реци Грошници, прве фазе Рени бунара на Великој Морави, надзиђивањем бране Грошница, довожење воде железницом вагон цистернама, другом фазом изградње Моравског система, па до 1984. године Крагујевац је био једини град који је деценијама решавао питање снабдевања водом са најразноврснијим могућностима, а да при томе није решен проблем снабдевања водом за пиће на дужи временски период. Град Крагујевац је коначно изградњом акумулације „Гружа“ и постројењем одмах испод бране коначно добио трајно решен проблем снабдевања водом.

Још у току изградње, а потом и завршетка Моравског водоводног система, 1974. године урађена је Студија нових изворишта за снабдевање града водом. Студијом је утврђено да једино решење за дугорочно решавање водоснабдевања града је изградња водоводног система на реци Гружи.

Са радовима на изградњи постројења и бране започето је 1978. године на реци Гружи, узводно од села Пајсијевић, на профилу „Туцачки напер“. На овај начин је омогућено формирање акумулације „Гружа“ чија је основна намена водоснабдевање, а споредне намене су да се заштити низводно подручје од поплава, да задржи нанос и побољша протикање реке Груже у периоду малих вода. У току 1983. године започето је пуњење акумулације, а у пролеће 1984. године Крагујевац је добио воду за пиће са водоводног система „Гружа“. Формирањем вештачке акумулације „Гружа“ обезбеђене су довољне количине воде за потребе Крагујевца и околних насеља за наредне деценије.

Максимална запремина воде у акумулацији на коти 270,00 mnnv износи $64,6 \times 10^6 \text{ m}^3$, а запремина корисног простора износи $48,4 \times 10^6 \text{ m}^3$, што представља запремину између минималног радног нивоа на 258 mnnv и коте нормалног успора 269,25 mnnv. Разлика у запремини на котатама нормалног и максималног успора представља резервисани простор за одбрану од поплава и износи $7,7 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Површина огледала језера на максималној коти износи 934 ha, а на коти нормалног успора износи 880 ha, док је површина слива 318 km^2 . Обим језера

је 42 km, дужина језера при максималној коти је око 10 km, а ширина варира од 0,2 – 1,5 km.

Са ове акумулације гарантује се просечна годишња количина воде од 816 L/s, а поред ове количине предвиђено је и непрекидно испуштање као биолошки минимим за низводно одржање реке Груже од 200 L/s, тако да је укупан просечан проток током године око 100 L/s. На основу ових протока време задржавања воде у акумулацији је око 1,8 година [2].

2. Резултати испитивања

Испитивање хемијских и физичких параметара воде акумулације Груже врше се од почетка формирања акумулације. Поред редовних уобичајених анализа, у појединим периодима вршена су и детаљна испитивања воде на више локација и различитих дубина, као и самог муља.



График 1. Кота језера, нормални успор и прелив
Graph 1. Lake elevation, normal slowness and overflow

На основу података за ниво воде у акумулацији, и из графика 1 може се закључити да је за посматрани период просечна кота језера износила 267,27 mпv, односно запремина је била $41,78 \times 10^6 \text{ m}^3$ или 64,67% испуњености. Такође, 4 пута је ниво достигао коту нормалног успора. У периодима октобар 2013 - април 2014, јул 2016, децембар 2021, новембар 2022 – јануар 2023. година ниво воде у акумулацији је био испод првог водозахвата [4].

Од хемијских параметара вршена је контрола свих параметара прописаних за основне анализе према Правилнику о хигијенској исправности воде за пиће. У овом раду су приказани само неки од контролисаних хемијских параметара, а то су растворени амонијак, нитрати, потрошња калијум-перманганата и укупни фосфор.

Узорковање површинске воде вршено је на пет локација: брана (у близини бране), центар (на средишњем делу акумулације), мост (испод моста који прелази преко акумулације), ушће Борачке реке и ушће реке Груже.

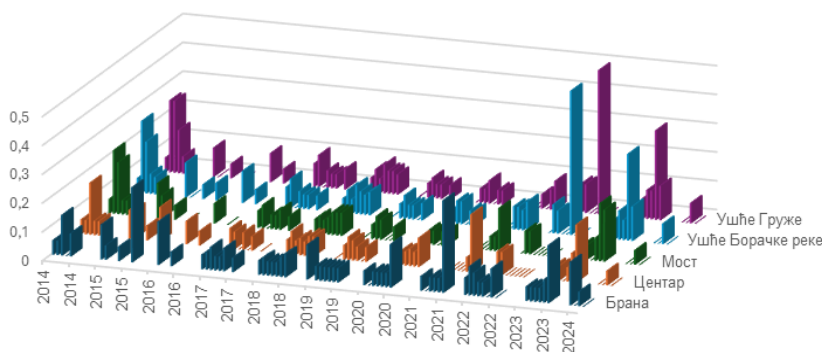


График 2. Концентрација амонијака mg/L
Graph 2. Ammonia concentration mg/L

Концентрација амонијака (график 2) у посматраном периоду у просеку је износила 0,05 mg/L до 0,08 mg/L (од бране према ушћу), а максималне вредности од 0,50 mg/L измерене су 2022. године у узорцима ушћа Борачке реке и реке Груже.

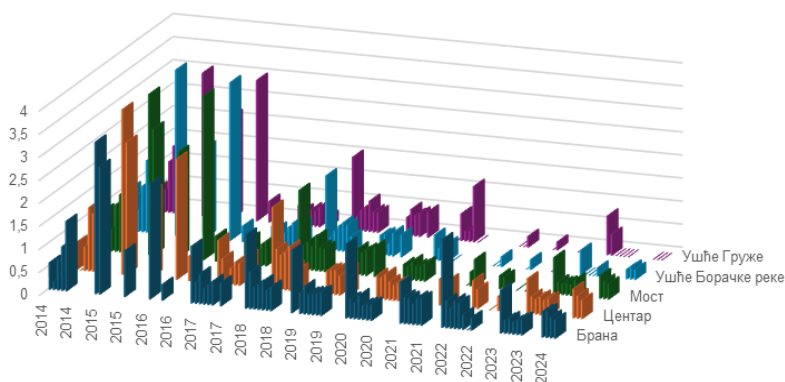


График 3. Концентрација нитрата mg/L
Graph 3. Nitrate concentration mg/L

Концентрација нитрата (график 3) у посматраном периоду у просеку је износила 0,62 mg/L до 0,42 mg/L (од бране према ушћу), а максималне вредности од 3,6 mg/L измерене су 2014-2016. године у свим узорцима.

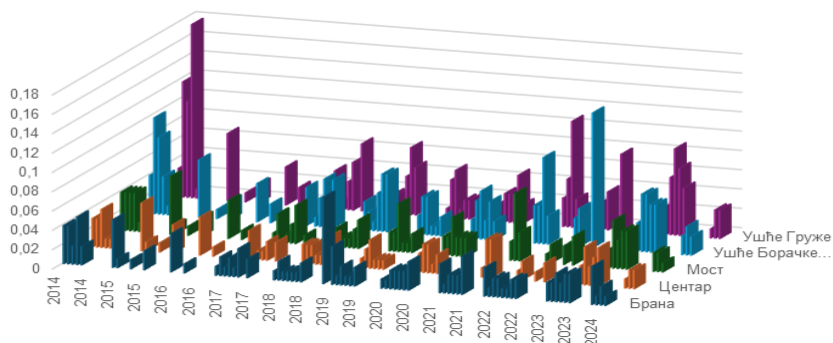


График 4. Концентрација укупних фосфата mg/L
 Graph 4. Concentration of total phosphates mg/L

Концентрација укупних фосфата (график 4) у посматраном периоду у просеку је износила 0,018 mg/L до 0,039 mg/L (од бране према ушћу), а максималне вредности од 0,14 mg/L и 0,18 mg/L измерене су 2014. године у узорцима ушћа Борачке реке и реке Груже.

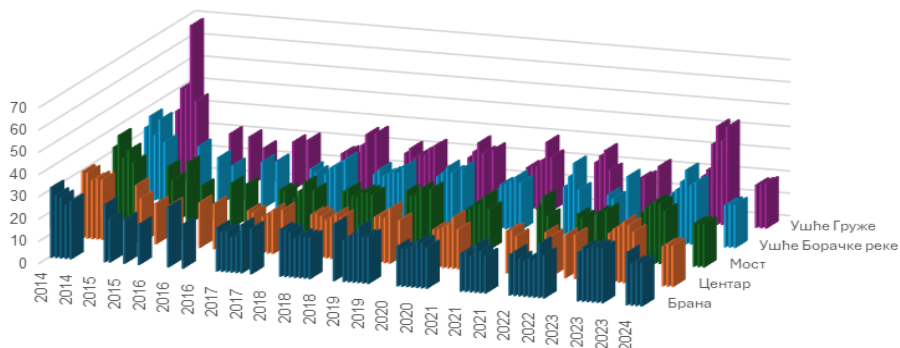


График 5. Утрошак $KMnO_4$ mg/L
 Graph 5. Consumption of $KMnO_4$ mg/L

Утрошак $KMnO_4$ (график 5) у посматраном периоду у просеку је износио 20,3 mg/L до 25,5 mg/L (од бране према ушћу), а максимална вредност од 70 mg/L измерена је 2014. године у узорцима ушћа реке Груже.

3. Закључак

Из изнетих података може се закључити да органске материје и фосфати у акумулацију доспевају приликом доласка великих вода из реке Груже и Борачке реке.

Увећане концентрације амонијака се уочавају у плитком делу акумулације за време ниског водостаја.

Како би Крагујевац и даље имао довољне количине воде за пиће потребно је стално праћење квалитета воде на више локација на самој акумулацији. Поред перманентне контроле квалитета воде неопходно је радити на самој заштити акумулације од загађења да не дође до брзе еутрофикације, јер сведочимо другачијим околностима, односно ми не само да не радимо на његовом успоравању и минимизирању, већ радимо на убрзању. „Наша модерна цивилизација је нанела више штете језерима током неколико последњих деценија, него што је то учинила људска култура током миленијума“ – Rodhe 1962, op. cit. Overbeck et al.1982. [3]

4. Литература

- [1] Н. Пантовић, Досадашњи развој и перспектива снабдевања водом града Крагујевца, *Вода и санитарна техника* 6, 9-16, 1975.
- [2] Н. Пантовић, С. Маџаревић, *Крагујевац у борби за воду*, Фонд за финансирање изградње Водоводног система „Гружа“ – Крагујевац и Радна организација „Водовод и канализација“, 1985.
- [3] Љ. Чомић, А. Остојић, монографија *Акумулационо језеро Гружа*, Природно-математички факултет Крагујевац, 2005.
- [4] Група аутора, *Вода за пиће, Стандардне методе за испитивање хигијенске исправности*, Савезни завод за здравствену заштиту, НИП Привредни преглед, Београд, 1990.

ZASIPANJE AKUMULACIJE „ĆELIJE“ (1979 – 2017)

SEDIMENT ACCUMULATION OF ĆELIJE LAKE (1979 – 2017)

TOMISLAV PETROVIĆ¹
JOVAN KOVAČEVIĆ²

Stručni rad
DOI: 10.5937/VIK24131P

Rezime: Krajem 2017. godine, hidrometrijskom metodom izvršeno je snimanje poprečnih profila na teritoriji Akumulacije „Ćelije“, radi utvrđivanja količine deponovanog nanosa između dve merne epohe (1979-2017.god.). Realizovana su merenja na 25 poprečnih profila, na koti 277,00 mnm, sa ukupno 3.988 stacionaža. Metodologijom proračuna količine nanosa kreiranjem digitalnog modela dna, utvrđene su kubature za svaku epohu, dok je količina nanosa izračunata iz njihove razlike. Deponovana količina nanosa na teritoriji Akumulacije „Ćelije“ (do kote normalnog uspora 277,00 mnm), u eksploatacionom periodu od 38 godina, iznosi 3,3 mil/m³.

Ključne reči: Ćelije, zasipanje, jezero

Abstract: The hydrometric method was used to record the cross-sectional profiles on the territory of lake „Ćelije“ accumulation at the end of the year 2017, in order to determine the amount of deposited sediment between the two measuring epochs (1979 - 2017). Measurements were carried out on 25 cross-section profiles, at ground level 277 masl, with a total of 3988 stationeries. By methodology of calculating the amount of the sediment by creating the digital model of the lake floor, the volumes for each epoch was determined, and the amount of the sediment volume is calculated from their difference. The calculated amount of sediment in the territory of the Ćelije accumulation (up to the level of normal deceleration 277,00 mnm), in the exploitation period of 38 years, is 3.3 mil / m³.

Key Words: lake Ćelije, sediment accumulation, lake

1. Uvod

Formiranjem Akumulacije „Ćelije“ utvrđena je bruto zapremina jezera do kote maksimalnog uspora (284,00 mnm), u iznosu od $68 \times 10^6 \text{ m}^3$. Od bruto zapremine akumulacije, određenu zapreminu za nanos predstavlja prostor od $20 \times 10^6/\text{m}^3$.

¹ Tomislav Petrović, JKP „Vodovod-Kruševac“, Dušanova 46, Kruševac, tomlavpetrovic@gmail.com, ORCID: 0009-0002-1447-1447

² Jovan Kovačević, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd, jkovacevic@grf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0001-9980-5797

Neposredno pre punjenja akumulacije vodom, 1978. godine, kompanija Energo-projekt je izvršila nulto snimanje akumulacije, na 30 poprečnih profila. Krajem 2017. godine, izvršena su merenja na identičnih 25 poprečnih profila ustanovljenih od strane Energoprojekta, uz apstrahovanje poslednjih pet poprečnih profila koji se gotovo nikada nisu nalazili pod vodom.



Slika 1. Raspored tačaka profila merenja iz 1978. godine na OSM podlozi
Figure 1. The distribution of measurement profiles points in 1978 on the OSM basemap

Ulazni podaci istraživanja predstavljaju merenja dubine jezerskog dna iz dve epohe:

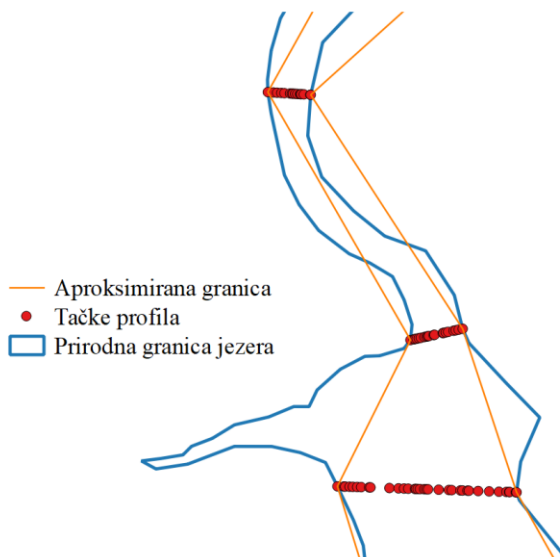
- Nulto stanje – 1978. godina
- Kontrolno merenje 2017. godina

Nulto stanje obuhvata merenja izvršena prilikom projektovanja buduće akumulacije, a pre punjenja (kreiranja) jezera. Realizovala ih je kompanija „Energoprojekt“ radi određivanja zapremine buduće akumulacije.

Ukupno su određene dubine na 783 lokacije, raspoređene na 25 poprečnih profila. Prostorni raspored profila u odnosu na OSM (Open Street Map) podlogu, prikazan je na slici 1. Kontrolno merenje izvršeno je 2017. godine. Profili po kojima je izvršeno merenje definisani su na osnovu tačaka koje su korišćene kao početne i krajnje tačke profila za merenja iz 1978. godine. Kako nije moguće obezbediti vidljivost krajnje i početne tačke sa površine jezera (zbog vegetacije), bilo je neophodno kreirati pomoćne tačke na samoj obali jezera uvođenjem u pravac između

krajnje i početne tačke svakog profila. Primenjeno je merenje u pojedinim tačkama duž svakog pravca, koristeći kombinovano hidrometrijsku i akustičnu metodu. Merenja su vršena prilikom apsolutno mirne vode, tako da nije bilo neophodno uvoditi popravke usled povijenosti pantljike. Za udaljenost od repernih tačaka, korišćen je laserski daljinomer. Ovom metodom izmerene su dubine jezera na 3.988 lokacija, raspoređene na 25 profila utvrđenih od strane Energoprojekta.

Opšti pristup određivanja zapremine nanosa između dve epohe podrazumeva da se na osnovu raspoloživih podataka za svaku epohu izračuna zapremina akumulacije, i da se količina nanosa odredi iz njihove razlike. Primena geodetskih metoda određivanja zapremine tela na osnovu vertikalnih preseka (profila) predstavlja pristup koji se intenzivno koristi u inženjerstvu. Međutim, primena je u konkretnom slučaju bila otežana iz sledećih razloga: velikog rastojanja između susednih profila (≥ 300 m), i neparalelnosti susednih profila usled kontura obala akumulacije.



Slika 2. Prikaz aproksimacije prilikom računanja zapremine na osnovu vertikalnih profila

Figure 2. The display of approximation when calculating the volume based on vertical profiles.

Neparalelnost susednih profila je posebno izražena u severnom delu akumulacije (Vodozahvatni basen), gde profili obrazuju oblik zvezde i gde bi računanje zapremine navedenim metodama uvodilo veliku aproksimaciju. Dodatno, prethodno navedena metoda podrazumeva prave linije između susednih profila, što, kada se uzme u obzir veliko rastojanje između susednih profila, produkuje površinu jezera

koja zanemaruje veliki broj zaliva i u nekim delovima značajno odstupa od prirodne površine jezera (slika 2). Kao alternativa metodi određivanja zapremine na osnovu vertikalnih preseka, iskorišćen je pristup baziran na digitalnom modeliranju terena. Pod time se podrazumeva da se od ulaznih podataka prvo kreira digitalni model terena dna jezera svake epohe, zatim da se izračuna zapremina akumulacije svake epohe kao zapremina tela koju digitalni model obrazuje sa horizontalnom ravni nulte kote vode, a konačna količina nanosa odredi kao razlika te dve zapremine.

Digitalni model terena – DMT (u originalu Digital Terrain Model – DTM), je prosto statistička predstava kontinualne površi zemljišta preko velikog broja izabranih tačaka sa poznatim X, Y i Z koordinatama u proizvoljnom koordinatnom sistemu. Digitalni model dna DMD, predstavlja poseban tip DMT-a, gde se tačke odnose na dno vodene površine koja se modelira. Neparalelnosti profila ne utiču na proračun ovom metodom, ali problem koji se odnosi na preveliko rastojanje susednih profila i dalje ostaje. Dodatno, metoda je osetljiva na različitu gustinu tačaka poput onog kakav je u ulaznim podacima (velika gustina tačaka duž profila i bez tačaka između profila). Ovakav nepovoljan raspored ulaznih tačaka može prouzrokovati artefakte, ravne delove površi terena i što se na kraju odražava pogrešnom vrednošću izračunate površine. Zbog toga je izvršeno progušćavanje ulaznih podataka novim tačkama, i to:

- Tačkama prirodne granice jezera;
- Tačkama između profila.

Popunjavanje tačkama kojima se diskretizuje prirodna granica jezera se vrši kako bi se ograničilo područje kreiranja DMD-a i suzbilo pojavljivanje neželjenih artefakta. Na ovaj način takođe se rešava i problem aproksimacije koji se javlja kada se granična linija definiše krajnjim tačkama profila. Kako se u okviru ovog proračuna nije raspolagalo zvaničnim podatkom poligona/linije granice jezera, ona je obezbeđena manualnom digitalizacijom sa zvaničnog sajta GeoSrbija.

Metričke razlike prikazane su u tabeli 1.

Tabela 1. Metričke razlike u prirodne i aproksimirane granice jezera

Table 1. Metric differences between natural and approximated lake boundaries

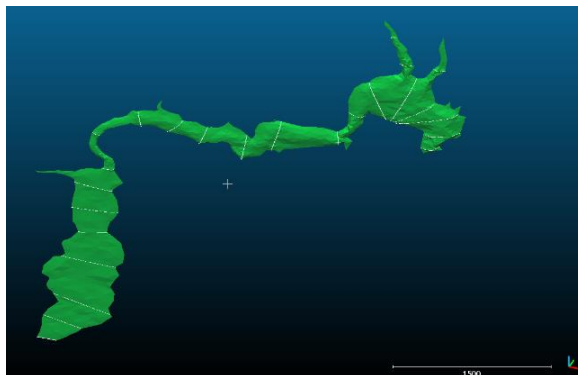
	Površina [ha]	Obim [km]
Prirodna granica	323.5427	24.028
Aproksimovana granica	295.5803	18.711

Prirodna granica je diskretizovana sa 863 tačke, kojima je dodeljena visinska kota 277 m, pošto se radi o visini koja predstavlja nulti nivo vode i na koju su redukovana sva merenja visina (dubina) ulaznih tačaka.

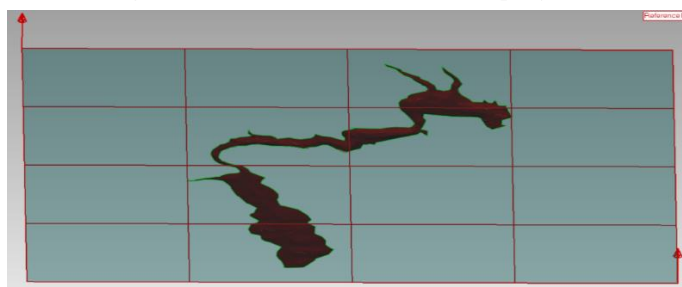
Popunjavanje tačkama između profila izvršeno je korišćenjem geostatističkih metoda – regresionim kriningom. Postupak podrazumeva da se na osnovu tačaka u kojima je poznata visina (tačke profila i tačke granice jezera), izvrši predikcija visine u tačkama od interesa. Prilikom predikcije mogu se koristiti i neke dodatne informacije (prediktori) koje mogu poboljšati rezultate. U konkretnom slučaju izvršena je predikcija visine (dubine) u 2102 tačke, kojima je selektivnim uzorkovanjem pokriveno područje između profila, pri čemu je vođeno računa da gustina tačaka približno svugde bude jednaka. Kao prediktori korišćene su sledeće informacije:

- Predikcija 1978. godine – korišćena je informacija o odaljenosti tačke od obale;
- Predikcija 2017. godine – pored informacije o udaljenosti od obale, korišćena je i informacija o visini (dubini) jezera u toj lokaciji iz nulte epohe.

Na osnovu ulaznih tačaka, tačaka granice i tačaka između profila izvršena je triangulacija i kreiranje 3D modela (slika 3).



Slika 3. Kreirani 3D model sa profilima
Figure 3. Created 3D model with profiles



Slika 4. Prikaz preseka 3D modela i referentne ravni na visini 277 mm
Figure 4. The display of the cross section of the 3D model and the reference plane at a height of 277 masl.

Računanje zapremine je vršeno kao odsečak kreiranog modela sa horizontalnom ravni na visini 277,00 mnm (slika 4).

Rezultati zapremina modela prikazani su u sledećoj tabeli:

Tabela 2. Rezultati zapremina

Table 2. Volumes results

Epoha	1979.	2017.	Razlika
Zapremina [10 ⁶ m ³]	41.0	37.7	3.3

2. Zaključak

Rezultati istraživanja ukazuju da je početna zapremina za nanos Akumulacije „Ćelije“, koja iznosi 20 mil/m³, nakon 38 godina eksploatacionog perioda, umanjena za 3,3 mil/m³, kao posledica zasipanja nanosom, što ukazuje da preostala zapremina za nanos iznosi 16,7 mil/m³.

Ukoliko se dinamika zasipanja akumulacije nanosom nastavi dosadašnjim tempom, bez značajnijih prirodnih ili antropogenih negativnih uticaja, može se očekivati da će preostala zapremina za nanos biti potpuno zasuta za ≈ 180 godina.

3. Literatura

- [1] Nulto snimanje Akumulacije „Ćelije“, Energoprojekt, 1978.

ИСЦРПЉИВАЊЕ ЛОКАЛНОГ ИЗВОРИШТА „ОПАЧИЦА“

DEPLETION OF THE LOCAL SOURCE OPAČICA

ОЛИВЕРА ДОКЛЕСТИЋ¹

Стручни рад

DOI: 10.5937/VIK24137D

Резиме: Рад се бави локалним извориштем „Опачица“, које снабдијева водоводни систем Херцег Новог. Уз кратко објашњење шта је „Опачица“, рад даје приказ исцрпљивања у периоду 2009-2022. Акцент је дат на значајном смањењу исцрпљивања воде из „Опачице“ од октобра 2017. до 2022. године.

Кључне речи: Водоводни систем Херцег Новог, Опачица, исцрпљивање

Abstract: The paper deals with the local source Opačica, which supplies the Herceg Novi water supply system. With a brief explanation of what Opačica is, the paper provides an overview of depletion in the period 2009-2022. Emphasis is placed on the significant reduction of water depletion from Opačica in period of October 2017 to 2022.

Key Words: Herceg Novi water supply system, Opačica, depletion

1. Опште о изворишту Опачица

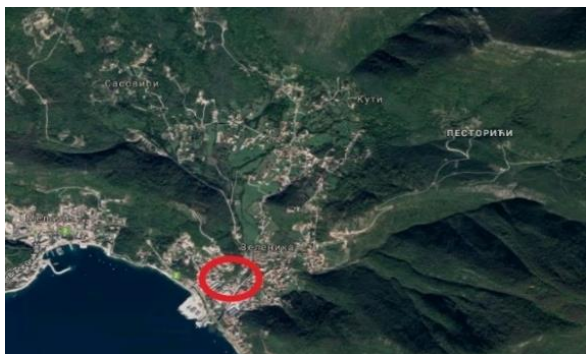
Најважнији локални водни ресурс у општини Херцег Нови, уједно и једно од најзначајнијих изворишта на подручју Боке которске и цијеле обале Црне Горе, од границе са Хрватском до ушћа Бојане у море, је извориште „Опачица“, у Кућанском пољу, о чему се писали бројни истраживачи, геолози. Под појмом најзначајнији водни ресурс мислимо на њена квалитативна и квантитативна својства, знајући да се ради о изворишту које има цјелогодишњу издашност а да не заслањује у лјетњем периоду, иако је црпилиште испод нивоа мора.

Може се говорити и о феномену „Опачице“, и њеном „раду“ у вријеме сушног лјетњег периода, али и воде која, иако се црпи из дубоких бунара, испод нивоа мора, је без контакта са морем, као риједак феномен у приморском региону, захваљујући флишној баријери која се пружа у правцу исток-запад [1].

¹Оливера Доклестић, Екобока пројект д.о.о, Краља Твртка бр. 3, Херцег Нови, Црна Гора, ekoboka.rp@gmail.com, ORCID: 0009-0000-5857-0602

Карстна издан „Опачица“ развијена је у карстификованим и масивним кречњацима горњокредне старости, који изграђују источни обод и палеорељеф Кућанског поља. Карстна водоносна средина оивичена је према југу бочном и подинском баријером коју чине слабо пропусни танкослојевити и плочасти кречњаци доњокредне старости, односно непропустни седименти флиша. У „Опачици“ је ниво воде у карстном каналу током хидролошког минимума око 4 m.i.n.m, а прелив на 7 m.n.m. Сливно подручје „Опачице“ је површине сс-а 18 km² а обухвата локалитете: Кути, Марићи, Ластва и Поди. Основне карактеристике „Опачице“ и њеног сливног подручја су: вишенамјенско коришћење водног ресурса и геолошкорморфолошка различитост подручја са снажним антропогеним чиниоцима, што утиче на површинске и подземне воде, било да су то привремени или стални водотокови. Подручје слива чини дијелом неизграђено подручје, пољопривредно земљиште, шикаре и шуме, а са друге стране, грађевинско земљиште са постојећим стамбеним и мањим дијелом привредним и другим нестамбеним објектима. Приоритетни задатак студије је добијање основе за утврђивање режима и услова коришћења, успостављање организације, уређења и заштите простора, рационално коришћење и очување природних ресурса, воде, заштита и унапређење животне средине на цијелом сливном подручју, са захтјевима одрживог развоја.

У погледу хемијског квалитета исцрпљене воде по анализима лабораторије „Водовод и канализација“ д.о.о. кроз уобичајене процедуре праћења квалитативних параметара, у периоду 2018-2022. није примјеђено присуство Cl⁻ у повећаној концентрацији која би навела на закључак за контакт с морем. Међутим, у периоду јун-октобар 2000. године утврђено је да се код капацитета црпљења од 60 l/s садржај Cl⁻ кретао преко 200 па до 423 mg/l [1]. У то вријеме је исцрпљивање „Опачице“ било перманентно цијеле године, а максимално је црпљена количина од 80-90 l/s.

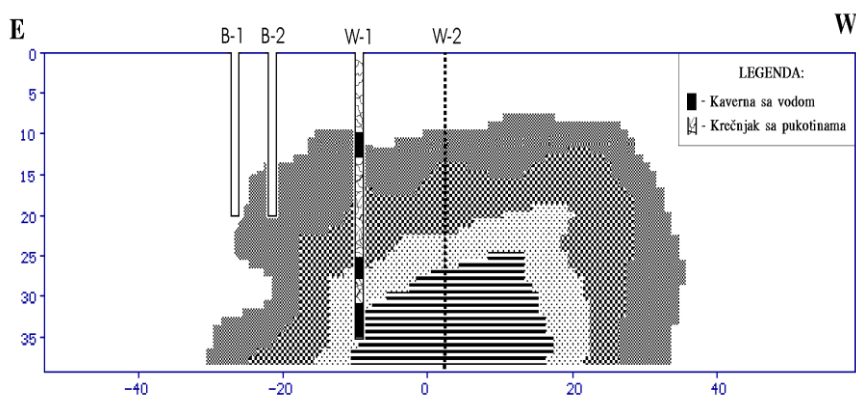


Слика 1. Сливно подручје водоизворишта „Опачица“
Figure 1. The catchment area of the Opatica water source

У закључку свом раду написао је: „Без обзира на узрок ове појаве, утицај мора или захватање фосилних вода у хидролошки неповољним условима, она лимитира могућност повећања издашности овог изворишта“.

2. Повећање капацитета исцрпљивања „Опачице“

Након проведених геофизичких истраживања процјењено је да би за експлоатацију било значајно да постоји истражна бушотина [5], а која је на слици 2 означена са W-1. Таква бушотина је и изведена на предвиђеном мјесту, са задатком експлоатационог бунара пречника 450 mm [4].



Слика 2. Вертикални 2D пресјек дуж дијела профила са илустрацијом облика и положаја аномалијског тијела изворишта „Опачица“ [4]

Figure 2. Vertical 2D section along part of the profile with an illustration of the shape and position of the anomalous body of the Oračica spring [4]

У периоду 2008-2009. године рађено је на реконструкција ПС „Опачица“. Промијењен је стари концепт пумпне станице у којој су биле двије велике пумпе снаге по 132 kW и двије мање, по 75 kW. Реконструкцијом је поред уградње нове електромашинске опреме извршена и унификација пумпних агрегата па самим тим и управљачких електро ормара са циљем повећања погонске спремности и ефикаснијег и лакшег одржавања. Од старих пумпи у функцији су остале двије утопне пумпе „Pleuger“, које су набављене 2004. године и које су се својом снагом и „Q –H“ карактеристикама уклапале у нови концепт пумпне станице, а 2007. године су поручене двије нове дубинске утопне пумпе произвођача „Vogel“ из Аустрије². Ове пумпе су и сада су функцији.

²Вогел Пумпс је аустријски произвођач пумпи, део је компаније Ксилем/Ловара. Вогел Пумпс се фокусира на апликације од чисте воде до хемијских течности, абразивних или експлозивних.

Пред лѐтњу сезону 2021. године урађена је реконструкција цјевног чво-ришта „Опачица“ унутар самог круга захватне грађевине „Опачица“, са циљем распетљавања чворишта, које је годинама било узрочник бројних проблема у испоруци воде за снабдијевање система, посебно за насеље Кута и околине.

3. Исцрпљивање „Опачице“

За анализу количина воде, које су из водоизворишта „Опачица“, убачене у систем снабдијевања водом Херцег Новог, користимо базу података „Водовод и канализација“ д.о.о, сектора за електро-машинско одржавање, где је се води евиденција о испумпаним количинама за потребе система, али и о потрошњи електричне енергије и свим врстама ремонта и замјене пумпних агрегата.

У данашње вријеме исцрпљивање из „Опачице“ је много веће захваљујући бунарима и постављеним пумпама, па је максимална количина која улази у систем око 150 l/s. У цијевним бунарима инсталирано је укупно 5 пумпних агрегата, од којих су 4 активна а један резервни. Карактеристике пумпи су:

- 3 пумпе урођеног типа: $Q = 50 \text{ l/s}$, $H = 116 \text{ м}$, $W = 83 \text{ kW}$
- 2 урођене пумпе: $Q = 50 \text{ l/s}$, $H = 120 \text{ м}$, $W = 90 \text{ kW}$

Изнад два бунара са инсталираним пумпним агрегатима изведен је објект пумпне станице, док се остала три бунара завршавају шахтовима, изван јединственог грађевинског захвата „Опачице“.



Слика 3. Изглед објекта ПС Опачица са управном и машинском зградом
Figure 3. Layout of the PS Opatica facility with the administration and machinery building

Чињеница је да су у периоду 2019-2022. значајно смањене потребе за кориштењем воде из „Опачице“ и да се њена функција свела на лѐтњи период, од јула до септембра, лежи у смањењу техничких губитака воде у цијелом

систему. „Водовод и канализација“ д.о.о. је од краја 2017. године почео са примјеном систематског смањења губитака, односно, неприходоване или невидиране воде која излази из система, примјеном принципа уклањања кварова и већег степена мобилизације радника на мрежи. Губици су и даље веома високи, и не дозвољавају смањење радног темпа и примјену сталног унапређења управљања, нарочито кваровима на мрежи. Мора бити јасно да док год се технички губици не умање на прихватљив ниво цјелодневне опскрбе водом свих дана у години, непринципијелно је говорити о економском аспекту система. „Опачица“ је изузетно вриједан водни ресурс и веома је важно како се њоме управља и колико се води рачуна о њеној исцрпљивости. У табели 1 дате су вриједности исцрпљивања из „Опачице“ за период 2009-2019.

Из табеле се јасно види да је све вријеме, током 2009. до октобра 2017. године „Опачица“ била у сталној годишњој функцији исцрпљивања. Од новембра 2017. године њено исцрпљивање за систем је драстично смањено, како у временском тако и у количинском смислу, на само љетње мјесеце: јун – септембар, и, по потреби, за укључивање у систем када из неког разлога престане редован доток из система ХЕТ-а, било због чишћења хидротехничког тунела³, било због квара на главном цјевоводу. На овај начин, смањењем исцрпљивања и некоришћења „Опачице“ током вансезонског периода овај водни ресурс је остао сачуван, како од прецрпљивања воде, тако и у смислу очувања водноснога и смањења ризика од заслањивања, без обзира на узрок, како је поменуто за претпоставке из уводног дијела текста.

У табели 2 су приказане вриједности количина исцрпљених у августу мјесецу у 2019, 2020, 2021 и 2022. години. Ни у једној од ових година максимална исцрпљена количина није прешла 120 l/s. Занимљиво је и да се датум максималног исцрпљивања помјерао све више ка почетку августа, што се може објаснити помјерањем шпица туристичке сезоне. Година 2019. је до данас рекордна по броју туриста, па тако и количина потребне воде за систем снабдијевања. У тој години је максимум у исцрпљивању био 22. августа са 110,83 l/s. Подаци из 2020. године говоре о значајно смањеном исцрпљивању „Опачице“ због слабије сезоне због епидемије корона вируса. Чињеница чувања „Опачице“ од прекомјерног исцрпљивања значајна је и са аспекта снабдијевања водом у вријеме обуставе дотока са Плата због редовног ремонта хидротехничког тунела, када су важне све расположиве количине во де, па је очувана „Опачица“ значајан добитак за систем. Такође, током ових година исцрпљивања, није примјећено повећано присуство хлорида (Cl⁻).

³ Хидротехнички тунел између ХЕ „Требиње“ и ХЕ „Дубровник“ у Платима, дужине је 16 km, проток кроз њега је 90 m³/s, а на њега је спојен цјевовод за Херцег Нови.

Табела 1. Исцрпљене количине воде из Опаџице у периоду 2009-2019. [2, 3]
 Table 1. Exhausted water amounts from Opačica in period 2009-2019. [2, 3]

Godina	Podaci o ispumpanim količinama vode na mjesečnom nivou iz Opačice u m ³												UKUPNO (m ³)
	Januar	Februar	Mart	April	Maj	Jun	Jul	Av gust	Septembar	Oktobar	Novembar	Decembar	
2009.	7.273	25.357	28.214	58.620	234.603	250.312	307.272	168.000	150.600	147.547	87.368	86.785	1.551.951
2010.	12.600	19.286	20.357	45.000	103.809	299.076	230.770	266.769	116.250	21.052	63.103	87.368	1.285.440
2011.	17.143	18.947	17.165	33.559	148.615	335.076	258.461	246.462	161.538	82.258	18.214	11.785	1.349.223
2012.	46.780	8.727	8.571	7.636	30.545	361.846	224.307	350.769	151.384	103.809	14.181	27.540	1.336.095
2013.	35.357	43.928	33.214	49.473	135.254	279.692	375.690	288.923	249.230	163.200	213.750	214.688	2.082.399
2014.	102.711	131.186	99.661	65.172	74.482	136.721	172.380	171.428	125.084	109.830	87.368	72.857	1.348.880
2015.	88.571	64.838	45.517	54.915	59.910	311.077	210.461	184.687	89.032	162.295	175.161	25.714	1.472.178
2016.	10.843	8.792	8.727	0	231.692	62.852	229.843	284.765	121.246	93.170	84.548	91.200	1.227.678
2017.	107.645	27.035	3.370	10.557	229.297	202.996	281.403	207.991	14.342	686	0	0	1.085.322
2018.	0	0	0	37.040	0	2.883	66.659	139.985	8.523	0	52.499	0	307.589
2019.	0	0	0	0	0	38.658	143.017	218.052	56.613	0	0	0	456.340
													13.503.095

Табела 2. Компаративне вриједности исцрпљивања из Опаџице за август: 2019-22. [2, 3]

Table 2. Comparative values of depletion from Opačica source for August 2019-22. [2, 3]

Mjesec	Dan	Prosječno dnevna iscrpljena količina Qi (l/s)			
		god. 2019.	god. 2020.	god. 2021.	god. 2022.
Avgust	1	42.79	25.30	102.60	59.40
	2	46.50	20.21	110.70	62.00
	3	55.19	22.06	105.70	52.70
	4	55.12	20.20	106.70	57.30
	5	60.79	0.00	102.30	70.30
	6	79.02	0.00	106.50	73.30
	7	94.02	0.00	107.00	73.80
	8	89.41	2.58	104.10	77.90
	9	92.62	16.75	79.20	63.90
	10	85.02	26.52	83.70	57.60
	11	95.37	32.40	89.50	73.20
	12	103.77	22.50	108.10	53.30
	13	104.86	12.80	111.50	44.60

Mjesec	Dan	Prosječno dnevna iscrpljena količina Qi (l/s)			
		god. 2019.	god. 2020.	god. 2021.	god. 2022.
	14	107.60	23.80	102.00	23.40
	15	102.29	25.20	93.90	23.50
	16	87.30	24.80	89.60	23.10
	17	66.23	27.90	79.40	11.40
	18	79.16	25.70	79.60	27.30
	19	79.72	8.90	72.80	23.70
	20	79.40	0.00	77.60	15.00
	21	90.31	3.10	74.60	22.50
	22	110.89	10.10	80.30	22.80
	23	88.06	13.85	79.40	11.90
	24	84.16	15.20	73.70	8.60
	25	79.24	14.90	52.20	14.80
	26	83.38	0.00	56.40	24.80
	27	88.32	0.00	46.50	24.50
	28	77.40	0.00	41.80	16.90
	29	73.74	6.10	29.40	16.00
	30	76.93	15.90	33.10	12.50
	31	65.16	12.10	44.30	10.40
	Prosječno	81.41	13.83	81.40	37.17

4. Закључак

Смањење техничких губитака воде у систему снабдијевања Херцег Новог, нарочито на ривијери, на потезу: Зеленика–Каменари, дало је позитиван резултат у испљивању локалног водног ресурса, „Опачица“, у Кућанском пољу. Иако је максимална издашност, по садашњим условима исцрпљивања, 160 l/s, у овом периоду 2017-2022. није било потребе да се он и досегне. У том периоду, због смањеног исцрпљивања, није примјеђено присуство јона СГ, као што је то било у неким ранијим годинама. Ипак, „Опачица“ оствара нове могућности за истраживање и проналажење хидрауличких, а заправо хидрогеолошких веза у сложеном карстном склопу залеђа Кућанског поља и отвара питање за могуће и додатне количине за експлоатацију. За сада је, ипак,

најважније да она буде очуван водни ресурс. У вријеме када је обустављен доток воде из ХЕТ-а „Опачица“ је основа у снабдијевању Херцег Новог. Тада је другачије функционисање система и много више на потискивању него у редовним приликама. Тада се ниво воде у бунарима „Опачице“ спушта и на 16 метара испод нивоа тла, па је, зато, њено очување, не само у квантитативном, него и у квалитативном смислу, веома важно. Овај рад је показао како се може рационално њоме управљати.

5. Литература

- [1] Беличевић В, Обезбеђење додатних количина подземне воде за водоснабдевање Херцег Новог, *XIII Симпозијум о хидрогеологији и инжењерској геологији*, Зборник радова, Књига 1, стр. 33-39, Херцег Нови, 2002.
- [2] Доклестић О, Смањење експлоатације изворишта „Опачица“ – смањење губитака воде у систему, Зборник радова са *51. Међународна конференција о заштити и коришћењу вода „Вода“*, Српско друштво за заштиту вода, Врњачка Бања, 2022.
- [3] Влатковић Д, Мониторинг и анализа ноћне потрошње као упоузданог индикатора губитака, Зборник радова *43 Међународна конференција „Водовод и канализација `22“*, Зрењанин, 2022.
- [4] Дубљевић В, *Хидрогеолошке карактеристике слива Бококоторског залива*. магистарски рад, Институт за хидрогеологију, Рударско-геолошки факултет, Универзитет у Београду, шп. 198, 2001.
- [5] Радуловић М. *Елаборат о резултатима хидрогеолошких истраживања Кутског поља и изворишта Опачица Херцег Нови*. ЈУ Републички завод за геолошка истраживања, Подгорица, 1995.
- [6] Радуловић М. *Хидрогеологија карста Црне Горе*, посебна издања Геолошког гласника, књига XVIII, Подгорица 2000.
- [7] Радуловић М. *Хидрогеолошке подлоге за ПУП Херцег Нови*. Општина Херцег Нови, Херцег Нови, 2016.
- [8] Радуловић М, Радуловић В. *Хидрогеолошка карта Црне Горе 1:200.000*, Завод за геолошка истраживања, Подгорица, 2004.

**ПРОЦЕНА КВАЛИТЕТА ПРИРОДНИХ МИНЕРАЛНИХ ВОДА
СА ТЕРИТОРИЈЕ ЛУКОВСКЕ БАЊЕ СА АСПЕКТА
ОСНОВНИХ ФИЗИЧКО-ХЕМИЈСКИХ ПАРАМЕТАРА И
МУЛТИ-ЕЛЕМЕНТАЛНЕ АНАЛИЗЕ**

**EVALUATION OF NATURAL MINERAL WATERS QUALITY
FROM THE LUKOVSKA BANJA AREA IN TERMS OF BASIC
PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS AND MULTI-ELEMENTAL
ANALYSIS**

НЕБОЈША ПАНТЕЛИЋ¹

Оригинални научни рад

DOI: 10.5937/VIK24145P

Резиме: У оквиру овог рада процењен је квалитет природних минералних вода са територије Луковске Бање са аспекта основних физичко-хемијских параметара и садржаја макро и микроелемената. Добијене вредности за рН, мутноћу, проводљивост, садржај хлорида и амонијака биле су у оквиру дозвољених вредности по Правилнику о квалитету природних минералних вода Републике Србије. Применом ICP-OES аналитичке технике утврђена је повишена концентрација As, док је садржај микроелемената Se, Mn, Cd, Cu и Pb био у границама максимално дозвољених вредности. Најдоминатнији елементи су Na, K, Ca, Mg, Si и S, док су концентрације Al, Co, Cr, Mo и Ni биле су испод границе детекције у свим испитиваним узорцима.

Кључне речи: минералне воде, квалитет воде, микроелементи, макроелементи, Луковска Бања

Abstract: This study aims to evaluate the natural mineral water quality from the Lukovska Banja area based on physico-chemical parameters and the content of macro and microelements. The obtained values for pH, turbidimetry, conductivity, chloride and ammonia content were within the allowed values according to the legislation of the Republic of Serbia. Using the ICP-OES analysis, an increased concentration of As was determined, while the content of microelements Se, Mn, Cd, Cu and Pb was within the maximum allowed values.

¹ Небојша Пантелић, Унивезитет у Београду, Пољопривредни факултет, Катедра за хемију и биохемију, Немањина 6, Земун, Београд, pantelic@agrif.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0003-1843-9890

The dominant elements were Na, K, Ca, Mg, Si and S, while concentrations of Al, Co, Cr, Mo and Ni were below the detection limit in all analyzed samples.

Key Words: Mineral waters, water quality, microelements, macroelements, Lukovska Banja

1. Увод

Вода представља један од најзначајнијих, али и најугроженијих природних ресурса. Људски организам се у највећој мери састоји од воде која има есенцијалну улогу у одржавању структуре и функције свих ћелија. Она је носач хранљивих супстанци, учествује у метаболичким процесима и терморегулацији, помаже варењу, одржава равнотежу електролита и елиминише штетне супстанце из организма [1].

Минералне изворске воде представљају значајан извор минерала неопходних за нормално функционисање организма. Минералне воде које извиру уз већих дубина обично имају повишену температуру, па се класификују као термоминералне. Особине подземних вода зависе од геолошког састава терена, минералошког састава стена и других фактора.

Познавање основних физичко-хемијских параметара, као и детаљног хемијског састава воде је изузетно важно за процену њеног квалитета. Поред присуства важних биогених макро - и микроелемената, пожељно је да у води не буду присутни токсични елементи, или уколико су присутни да буду у границама које препоручују релевантне међународне агенције, попут Светске здравствене организације, или домаће законодавство [2]. Повишене концентрације елемената могу имати негативни утицај на здравље људи због њихове токсичности, перзистентности и способности биоаккумуляције [3].

У оквиру овог рада процењен је квалитет природних минералних вода са територије Луковске Бање са аспекта основних физичко-хемијских параметара (температура, рН вредност, мутноћа, проводљивост, садржај хлорида и амонијака), и садржаја макро - (*Na, K, Ca, Mg, Si, S*) и микроелемената (*Cd, Cu, Fe, Pb, As, Se, Zn, Mn, Co, Cr, Al, Mo, Ni*). Добијене вредности споменутих параметара упоређене су са референтним вредностима препоручених националним правилником о квалитету воде за људску употребу.

2. Материјали и методе

2.1. Област истраживања

Луковска Бања се налази на југу Србије, на источним падинама планине Копаоник, на надморској висини од 681 m (43° 9' 58.67"/N, 21° 2' 17.83"/E) (слика 1). Карактерише је велики број извора термоминералне воде које се примењују у превенцији и лечењу разних обољења. Због својих природних

лепота и умерено-континенталне климе погодна је за одмор и разне врсте рекреација. Са територије Луковске Бање прикупљени су узорци воде са следећих извора: вода за очи (U1), вода за притисак (U2), вода за шећер (U3), вода за пиће (U4), вода за купање (U5). Сви узорци воде прикупљени су и анализирани у периоду август-септембар 2023. године.



Слика 1. Географски положај Луковске Бање
Figure 1. Geographical position of Lukovska Banja

2.2. Одређивање физичко-хемијских параметара

Због температуре воде извршено је термометријски и изражено је у °C. pH-вредност је одређивана pH-метром (MultiMeter MM 41, pH електроде 50 21 T). За мерење проводљивости коришћен је кондуктометар (Crison, MultiMeter MM 41, E.C. cell 50 70). Мутноћа вода одређена је нефелометријски (NTU) помоћу турбидиметра (Turb 430 IR). Садржај хлорида одређен је методом по Mohr-у (титрација стандардним раствором сребро-нитрата). Садржај амонијака одређен је колориметријском методом (Nessler-ов реагенс, 425 nm) [4].

2.3. Одређивање садржаја макро и микроелемената

За одређивање концентрације елемената, узорци воде узети су у полиетиленске боце од 1 L, које су испране разблаженом HNO_3 (1:1, v/v), а потом дејонизованом и ултра-чистом водом. Конзервисање узорака је урађено додавањем 1 mL 65% HNO_3 (65 wt.%, Suprapur®), Merck KGaA, Darmstadt, Немачка до $\text{pH} < 2$. Узорци су чувани у фрижидеру до мерења. Припрема узорака за снимање елемената је урађена у микроталасном дигестору (ETHOS 1, Milestone, Italy), који је опремљен са HPR-1000/10S сегментираним ротором. У

политефлонске кивете од 100 mL стављено је 45,00 mL узорка воде и додато 5 mL HNO₃ (65%, Suprapure®, Merck, Darmstadt, Немачка). Током првих 10 мин, узорак је постепено загреван до 160°C, а затим је у наредних 10 мин. температура линеарно повећана до 165°C. После хлађења, узорак је разблажен у волуметријском суду до 50 mL (US EPA Method 3015).

За одређивање садржаја елемената коришћена је аналитичка техника индуктивно куплована плазма са оптичком емисионом спектрометријом, ICP-OES (енг. *Inductively coupled plasma - optic emission spectrometry*) [2]. Анализа је рађена на инструменту Thermo Scientific iCAP 6500 Duo ICP (Thermo Fisher Scientific, Cambridge, UK).

За калибрацију инструмента коришћена су три мулти-елементална и један моноелементални сертификована ICP-OES стандарда: Multi-Element Plasma Standard Solution 4, Specpure® i Silicon, plasma standard solution, Specpure®, Si 1000 µg/mL (оба од Alfa Aesar GmbH & Co KG, Немачка); SS-Low Level Elements ICV Stock i ILM 05.2 ICS Stock 1 (оба од VHG Labs, Inc- Part of LGC Standards, Manchester, NH 03103 USA). Аналитички процес верификован је помоћу сертификованог референтног материјала EPA Method 200.7 LPC Solution (ULTRA Scientific, USA). Слагање измерених концентрација са сертификованим вредностима је било 96-104% [2].

3. Резултати и дискусија

Резултати основних физичко-хемијских параметара анализираних узорака минералних вода приказани су у табели 1.

Табела 1. Физичко-хемијски параметри анализираних узорака воде

Table 1. Physico-chemical parameters of analyzed water samples

Узорак	Температура (°C)	pH	Мутноћа (NTU)	Проводљивост (µS/cm)	Cl ⁻ (mg/L)	NH ₃ (mg/L)
U1	26	6,50	2,68	2125	26,15	0,09
U2	41	6,58	0,81	1475	32,07	0,17
U3	37	6,51	1,73	1950	28,94	0,07
U4	25	6,70	4,24	2300	36,77	0,11
U5	43	6,62	0,93	1370	41,04	0,13
МДВ*	/	6,5-9,5	5	2500	250	0,5

*Максимално дозвољене вредности у минералним водама за људску употребу [5]

Температура и pH вредност су једне од најлакше мерљивих параметара квалитета воде и на њих могу утицати различити фактори. Температура воде

контролише брзину метаболичких и репродуктивних активности и животних циклуса за водени екосистем [1]. Измерене температуре у испитиваним узорцима воде кретале су се у интервалу од 25–43°C. На рН утичу соли које хидролизују као и хуминске сусптанце које мењају карбонатну равнотежу. Опсег рН вредности тестираних узорака воде био је између 6,50 и 6,70, што је у границама препоручених вредности по Правилнику о квалитету природних минералних вода Републике Србије [5]. Као што је и очекивано, добијени резултати показују да су испитивани узорци воде умерено кисели.

Замућност воде је резултат оптичке активности растворених супстанци у води. Ниво замућености може се повећати присуством суспендованих неорганских и диспергованих органских супстанци [3]. Сви испитивани узорци воде показали су замућеност испод 5,00 NTU, што је границама препоручених вредности.

Проводљивост је мера способности воде да проводи електричну струју, што може бити основни показатељ њеног минералног садржаја. Степен проводљивости зависи од количине растворених соли, наелектрисања јона и њихове покретљивости, као и од температуре на којој је одређена проводљивост [1].

Према законодавству Републике Србије максимално дозвољена вредност за проводљивост у природним минералним водама за људску употребу износи 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ [5]. На основу добијених резултата (табела 1), испитивани узорци воде могу се класификовати као природне минералне воде са опсегом проводљивости од 1375–2300 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

У подземним водама, хлор се углавном јавља у облику хлоридних јона [3]. Нема научних доказа да повећана концентрација хлорида може утицати на здравље људи, међутим, она може утицати на органолептичке карактеристике воде. У анализираним узорцима воде, концентрација хлорида кретала се у интервалу од 26,15–41,04 mg/L, што је далеко испод максимално дозвољених вредности за природне минералне воде коју препоручује Правилник Републике Србије и Светска здравствена организација [5, 6].

У воденом раствору, амонијак и амонијум јон се налазе у равнотежи која у великој мери зависи од температуре и од рН вредности. У природним минералним водама присуство амонијака је очекивано услед разлагања азотних органских једињења, као што су протеини.

Веће концентрације могу указати на органско загађење воде, па је од изуетне важности пратити његову концентрацију у води за људску употребу. На основу законодавства Републике Србије, максимално дозвољена кон-

центрација амонијака у природним минералним водама износи 0,5 mg/L [5], и сви испитивани узорци воде имали су значајно нижу вредност од максимално дозвољене (табела 1).

Концентрације макроелемената у испитиваним узорцима воде приказане су у табели 2. Доминантни елементи у води су алкални и земноалкални метали који су неопходни за нормално одвијање различитих процеса у људском организму: изградњи коштаног ткива, активацију ензима, одржавање тонууса крвних судова, преношење нервних импулса, итд. [2]. Садржај натријума у анализираним водама кретао се у интервалу од 180,04–297,30 mg/L, док је концентрација калијума била у опсегу од 12,53–20,41 mg/L. Према Правилнику Републике Србије, максимално дозвољена концентрација (МДК) ових биогених елемената за минералне воде није дефинисана, међутим, према Правилнику о хигијенској исправности воде за пиће Републике Србије, МДК за натријума износи 200 mg/L, па и поред тога што је овај елемент виталан за нормално функционисање организма, треба бити умерен са конзумирањем воде са анализираних извора.

Занимљиво је да Светска здравствена организација наводи да нема чврстих доказа да натријум у води за пиће доводи до хипертензије, па стога ова организација и не издаје препоруку у вези са максималним вредностима овог елемента у пијаћој води [2]. Са друге стране, у свим тестирани узорцима забележена је концентрација калцијума и магнезијума која је у границама дозвољених вредности за свакодневну воду за пиће (150 и 50 mg/L, редом).

Иако се не убраја у есенцијалне елементе за људе, силицијум је значајан за калцификацију костију, помаже у процесу зарастања рана и улази у састав колагена [2]. Граница концентрације за силицијум није дата у прописима о квалитету и безбедности природних минералних вода Републике Србије, ипак, присуство овог макроелемента у минералним водама је сасвим очекивано због велике распрострањености силикатних минерала. Међутим, због њихове лоше растворљивости, концентрације овог елемента су обично ниске. У испитаним узорцима воде, садржај овог елемента био је у интервалу од 5,21 до 12,45 mg/L, што се сматра просечним концентрација силицијума у подземним водама [3].

Сумпор се такође природно налази у земљишту и стенама у облику различитих минерала. У зависности од рН средине, сумпор се у подземним водама може јавити у облику сулфата (SO_4^{2-}), хидрогенсулфида (HS^-) и водоник сулфида (H_2S). Иако према Правилнику Републике Србије није дефинисана максимална дозвољена концентрација овог елемента, познато је да значајна количина сумпора у води може утицати на њен укус и боју, а у неким случајевима може проузроковати лаксативни ефекат [3]. На основу добијених вредности садржаја сумпора, можемо закључити да се узорак U4 може

класификовати као вода са умереним садржајем сумпора (14,48 mg/L), док остали анализирани узорци припадају водама са високим садржајем овог биогеног елемента (табела 2).

Табела 2. Концентрације макроелемената у испитиваним узорцима воде [mg/L]

Table 2. Concentrations of macroelements in the analyzed water samples [mg/L]

Узорак	Na	K	Ca	Mg	Si	S
U1	297,30	20,41	100,80	22,78	12,45	45,05
U2	227,30	15,01	92,05	26,32	9,06	37,39
U3	222,40	14,98	92,40	24,62	9,20	37,12
U4	180,40	12,53	58,58	23,97	5,21	14,48
U5	241,20	16,72	93,01	27,39	9,37	38,80
МДВ*	н.д.**	н.д.	150	50	н.д.	н.д.

*Максимално дозвољене концентрације у водама за људску употребу [7]

** није дефинисано [7]

Концентрације микроелемената у анализираним узорцима воде приказане су у табели 3. Арсен је један од најтоксичнијих и најканцерогенијих елемената који се јавља у неорганском и органском облику [8]. Због његовог доказаног штетног дејства на срце, плућа, јетру и бубреге, максимално дозвољена вредност овог елемента у води за пиће износи 10 $\mu\text{g/L}$. Добијени резултати у овом истраживања указују да сви анализирани узорци воде, осим узорак U4, садрже значајно повишену концентрацију арсена (табела 3). У земљишту, овај микроелемент се обично јавља у облику сулфидних минерала који се при одређеним условима (температура и pH) могу разложити, што доводи до акумулирања арсена у подземним водама. Селен је биогени елемент који је саставни део многих ензима који учествују у оксидо-редукционим процесима. Неутралише слободне радикале који су одговорни за стварање оксидативног стреса, а многе студије показују позитиван утицај селена на метаболизам неких токсичних метала (As, Pb, Hg), чиме се смањује њихова токсичност. Ако се изузму контаминанти из различитих индустријских постројења, примарно порекло селена у подземним водама је из седимената, а повишене концентрације могу се јавити и као последица употребе одређених врста ђубрива [2].

Према Правилнику Републике Србије, максимално дозвољена концентрација овог микроелемента у природним минералним водама за људску употребу износи 10 $\mu\text{g/L}$, и сви испитивани узорци воде имали су садржај селена испод ове вредности (табела 3). У подземним водама, гвожђе се углавном налази у облику двовалентних соли карбоната, хидрогенкарбоната и

сулфата [3]. Највиша концентрација гвожђа забележена је у узорку U3 (17,08 $\mu\text{g/L}$), док је у узорцима U1, U4 и U5 била испод границе детекције ($<0,1 \mu\text{g/L}$). Праћење садржаја гвожђа у води је веома важно јер високе концентрације могу довести до његовог акумулирања у организму човека. Гранична вредност концентрације за цинк није дефинисана у прописима о квалитету и безбедности природних минералних вода Републике Србије. Концентрација овог биогеног елемента забележема је у узорцима U1 и U5 (9,32 и 5,20 $\mu\text{g/L}$, редом), док је у осталим анализираним узорцима та вредност била $<0,1 \mu\text{g/L}$. Манган је распрострањен у стенама у облику силикатних минерала чијом хидролизом се ослобађа манган у подземним водама [9]. Покретљивост и облик мангана у подземним водама веома зависе од температуре и рН вредности. Садржај мангана у узорку U4 био је испод границе квантификације методе, док је у осталим узорцима опсег концентрације био од 133,50 до 169,80 $\mu\text{g/L}$ (табела 3). Концентрације Cd, Cu и Pb у свим анализираним узорцима биле су испод максимално дозвољених вредности у водама за људску употребу дефинисане Законодавством Републике Србије, док су концентрације Co, Cr, Al, Mo и Ni биле испод границе детекције.

Табела 3. Концентрације микроелемената у испитиваним узорцима воде [$\mu\text{g/L}$]
Table 3. Concentrations of microelements in the analyzed water samples [$\mu\text{g/L}$]

Узорак	Cd	Cu	Fe	Pb	As	Se	Zn	Mn
U1	0,88	1,19	$<0,1$	0,38	93,80	6,00	9,92	169,80
U2	$<0,1$	0,71	2,21	0,46	77,50	7,14	$<0,1$	138,00
U3	$<0,1$	3,54	17,08	0,06	81,60	5,30	$<0,1$	133,50
U4	0,04	1,67	$<0,1$	$<0,1$	1,72	1,83	$<0,1$	$<0,1$
U5	0,02	1,95	$<0,1$	0,85	57,90	5,56	5,20	146,20
МДВ*	3	500	н.д.**	10	10	10	н.д.	500

Концентрације Co, Cr, Al, Mo и Ni у свим узорцима биле су испод границе детекције

*Максимално дозвољене концентрације у водама за људску употребу [7]

** није дефинисано [7]

4. Закључак

У овој студији извршена је процена квалитета природних минералних вода са територије Луковске Бање са аспекта основних физичко-хемијских параметара и садржаја макро - и микроелемената. Резултати основних физичко-хемијских параметара били су у границама препоручених вредности према Правилнику о квалитету природних минералних вода за људску употребу Републике Србије. Као што се и очекује, најдоминантнији елементи у анализираним узорцима

воде су алкални и земноалкални метали, као и силицијум и сумпор. Концентрације испитиваних микроелемената у узорцима воде биле су испод максимално дозвољених вредности, осим за арсен у узорцима U1, U2, U3 и U5 где је забележена значајно већа концентрација (~ 6-10 пута) овог микроелемента од МДК.

Ова студија указује да испитивани извори минералних вода на територији Ликовске Бање садрже значајну концентрацију есенцијалних елемената и стога могу благотворно утицати на здраље људи ако се користе у умереним и/или контролисаним количинама.

5. Захвалница

Рад је настао као резултат истраживања у оквиру уговора о реализацији и финансирању научно-истраживачког рада у 2024. години између Пољопривредног факултета Универзитета у Београду и Министарства науке, технолошког развоја и иновација РС (број Уговора: 452-03-65/2024-03/200116).

6. Литература

- [1] Kostić A. Ž, Pantelić N. Đ, Kaluđerović L. M, Janoš J. P, Dojčinović B. P, Popović-Đorđević J. B. Physicochemical properties of waters in Southern Banat (Serbia): Potential leaching of some trace elements from ground and human health risk, *Exposure and Health* 8, 227, 2016.
- [2] Pantelić N. Đ, Štrbački J, Maloparac I, Tomašević N, Dojčinović B. P, Kostić A. Ž. Multielemental analysis of real water samples from the Požega area, Serbia. *Zaštita materijala* 63, 58, 2022.
- [3] Pantelić N. Đ, Jaćimović S, Štrbački J, Milovanović D. B, Dojčinović B. P, Kostić A. Ž. Assessment of spa mineral water quality from Vrnjačka Banja, Serbia: geochemical, bacteriological, and health risk aspects. *Environmental Monitoring and Assessment* 191, 648, 2019.
- [4] Pantelić N, Dramićanin A. M, Milovanović D. B, Popović-Đorđević J. B, Kostić A. Ž. Evaluation of the quality of drinking water in Rasina district, Serbia: physicochemical and bacteriological viewpoint. *Romanian Journal of Physics*. 62, 818, 2017.
- [5] *Службени гласник РС*. Правилник о квалитету и другим захтевима за природну минералну воду, природну изворску воду и стону воду, бр. 43/2013, 2013.
- [6] *WHO - Guidelines for Drinking-water Quality: fourth edition incorporating the first addendum*, World Health Organization, Geneva, 2017.
- [7] *Службени гласник РС*, Правилник о хигијенској исправности воде за пиће, бр. 42/98, 44/99 и 28/2019, 2019.

- [8] Pantelic N, Kostic A. Z, Grsic N, Strbacki J, Dojcinovic B. P, Popovic-Djordjevic J. B. Multi-elemental analysis of the Bojana River water (Montenegro) and evaluation of indices for recreational and irrigation purposes. *Journal of Environmental Protection and Ecology*. 21, 1587, 2020.
- [9] Marković G, Kostić A. Ž, Pantelić N. Đ, Miletić R, Štrbački J, Cakić J, Kaluđerović L, Dojčinović B. P, Giuffre A. M, Popović-Đorđević J. B. Spatial distribution of major nad trace elements in artificial lakes in Serbia: health risk indices and suitability of water for drinking and irrigation purposes. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195, 1237, 2023.

ТЕРМАЛНЕ, МИНЕРАЛНЕ И ТЕРМОМИНЕРАЛНЕ ВОДЕ ПРИЈЕДОРСКЕ РЕГИЈЕ

THERMAL, MINERAL AND THERMOMINERAL WATERS OF THE PRIJEDOR REGION

БОЈАН ЕЋИМ¹

Прегледни стручни рад
DOI: 10.5937/VIK24155E

У сјећање на: Љубинка Протића (1950-2001)

Резиме: Минералне, термалне и термоминералне воде, као уникатно природно благо, користе се највише у бањама. Оне могу бити значајан извор дугорочног богатства под условом да се осмисли стратегија њиховог развоја и коришћења у складу са могућностима савремене технономије и свеопштег напретка. Ту је шанса, јер је у свијету, услед исцрпљености ресурса и нарушавања еколошке равнотеже, све наглашенији смјер развоја чистих технологија и производње високо вриједних производа. На овај смјер развоја приморава и већ ограничавајућа исцрпљеност животног тла и питке воде, односно геолошког и биолошког блага, јер је природа добрим дијелом већ онеспособљена да процесе враћа у првобитна стања и да их обнавља са досадашњим даровима. Ови извори постају све оскуднији, геолошки дубљи, по издашности сиромашнији, по квалитету неповољнији и у цјелини скупљи. На овом подручју једино је формирана бања Мљечаница на локацији природних појава хладне високоминерализоване воде температуре 13 до 14°C, веома богате H₂S гасом. Поред тога највећу перспективу има термоминерална вода Љешљана која има високу вриједност рН 11,9 и спада у хипералкалне воде, што је уједно и најбазичнија вода у Републици Српској. Овај рад је урађен као успомена на покојног колегу Љубинка Протића, дипл.инж. геологије. Рад се састоји од његових истраживања Љубијске металогенетске области, а мени припада част што сам био његов сарадник и дао скромни допринос истом.

Кључне ријечи: термалне, минералне и термоминералне воде

In memoriam: Ljubinko Protić (1950-2001)

Abstract: Mineral, thermal and thermomineral waters, as a unique natural treasure, are used mostly in spas. They can be a significant source of long-term wealth, provided that a strategy

¹ Бојан Ећим, „Водовод“ а.д. Козарска 87, Приједор Босна и Херцеговина, b.ecim@vodovod-pd.com, ORCID 0009-0007-7823-2345

for their development and use is devised in accordance with the possibilities of modern techno-economy and general progress. There is a chance, because in the world, due to the exhaustion of resources and the disruption of the ecological balance, the direction of the development of clean technologies and the production of high-value products is increasingly emphasized. This direction of development is also forced by the already limiting exhaustion of living soil and drinking water, that is, geological and biological treasures, because nature is largely already incapable of returning the processes to their original state and renewing them with the previous gifts. These sources are becoming more and more scarce, geologically deeper, poorer in terms of abundance, less favorable in terms of quality and generally more expensive. In this area, the only Spa Mlječanica was formed at the location of natural occurrences of cold highly mineralized water with a temperature of 13 to 14°C, very rich in H₂S gas. In addition, the thermomineral water of Lješljani, which has a high pH value of 11.9 and belongs to hyperalkaline waters, has the greatest perspective, which is also the most basic water in the Republic of Srpska. This work was done as a memorial to my late colleague Ljubinko Protić, B.Sc. geology. The work consists of his research in the Ljubija metallogenetic area, and I am honored to have been his collaborator and made a modest contribution to it.

Key words: Thermal, mineral and thermomineral waters

1. Увод

Регија Приједор је једна од нодално-функционалних регија Републике Српске. Сједиште регије је Град Приједор који се простире у правцу сјевер – југ 32 km и у правцу исток – запад 46 km, на површини од 834 km² и надморској висини од 135 m. Према Просторном плану ова регија је дефинисана као мезорегија и поред Града Приједора обухвата сљедеће градове и општине: Козарска Дубица, Костајница, Крупа на Уни, Нови Град и Оштра Лука. Клима је умјерено континентална са средњом годишњом температуром од 11,7°C, односно средњом зимском од 1,6°C и средњом љетном од 21,6°C. Средња годишња количина падавина износи 942 mm.

2. Активне холоценске термалне, минералне и термоминералне воде

На подручју Приједорске регије постоји више регистрованих термалних, минералних и термоминералних вода. Оне су условљене хидрогеолошким својствима стијенских маса и зависне од литостратиграфских и тектонских односа, што се огледа у постојању обичних, подземних, минералних и термоминералних вода. Ове воде карактеришу се различитошћу и сложеностју генетских карактеристика, хемијским карактеристикама, термоминералним својствима, хидрауличним режимом и механизмом, начином прихрањивања, акумулирања и прањњења њихових колектора, односно лежишта.

Подручје Приједорске регије има сложен геолошки састав и грађу, која резултира из литостратиграфске разноликости седимената, појаве интрузија и

ефузија магмата различите старости, те метаморфних комплекса и сложених тектонских односа. Област, која је дио зоне палеозојских шкриљаца и мезозојских кречњака у оквиру унутрашњих Динарида. Међу најважније структурне елементе улазе расједи који су условљавали стварање депресија у којима су таложене неогене наслаге. Вишефазно расједање и епирогенетски покрети резултирали су издизањем блокова и стварању дубљих депресија. Уочена је просторна и генетска веза термалних и термоминералних вода и тектонске и неотектонске активности ове области.

Појаве термалних, минералних и термоминералних вода егзистирају највећим дјелом у тријаским кречњацима и доломитима, а много мање у кредним седиментима. Акумулације вода су међусобно независне у хидрауличном смислу. Ове воде се јављају у различитим дубинама од површине терена. Оне су атмосферског поријекла, а мањим дјелом морског или језерског и обновљиве су веома успорено. Карактерише их веома сложени хидротермички, хидраулички и хидрохемијски режим.

У вези са тектонским збивањима на подручју Приједорске регије могу се издвојити два дислокациона система у оквиру којих се појављују минералне, термалне и термоминералне воде. Један дислокациони систем је уздужни (лонгитудинални, динарски), а други је дијагоналан у односу на динарске наборне структуре. Оба система су отворена и припадају алпској геотектонској структури.

Ова два дислокациона система, такође, представљају потенцијалне области за проналажење акумулација подземних вода. Минералне воде на подручју Приједорске регије распоређене су дуж дијагоналних дислокационих система. Источни систем је између Омарске и Санског Моста, приближног правца пружања сјевероисток-југозапад. У њему се налази већи број различитих минералних вода које су повезане аквиферима из различитих средина. Вода је Mg-Ca-SO₄-HCO₃ типа. Значајно је да се баш у овој зони налазе воде богате CO₂.

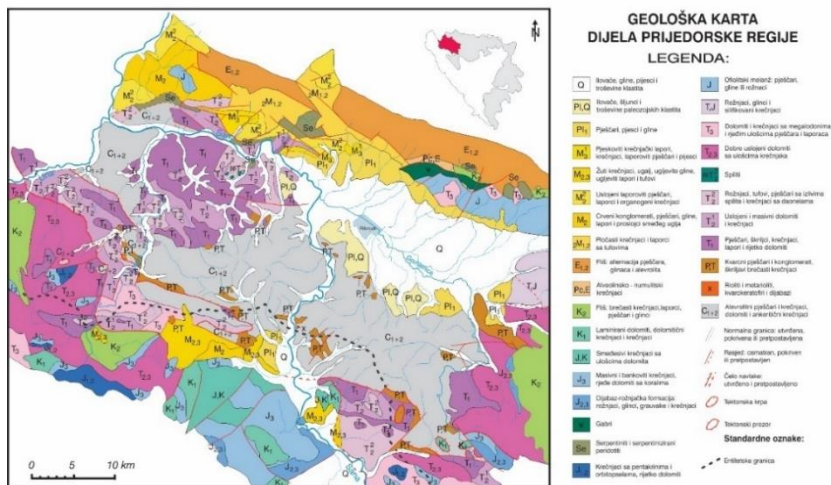
Западни структурни систем је смјештен између бање Мљечанице и Новог Града и има пружање исток-запад. Ови извори се јављају у неогеним творевинама, воде су јаче минерализоване и карактерише их повишен садржај аниона SO₄²⁻ Cl⁻, што наводи на претпоставку да су прави аквифери дубље, па су отуда воде јаче минерализоване и топлије, те се ради о стијенама које садрже сулфате попут гипса. Термалне и термоминералне воде се налазе на лонгитудиналним уздужним структурама праваца пружања сјеверозапад-југоисток. Водe су слабо минерализоване. Извори минерализације могу да буду повезани са аквиферима у тријаском систему, јер су воде хидрокарбонатно-сулфатног типа.

С обзиром на геотермичке параметре, аналогијом са сусједним теренима који су боље истражени (Хрватска), на подручју Приједорске регије би се могле издвојити двије зоне, перспективне у погледу истраживања геотермалних ресурса:

- Зона температура виших од 50°C у полуотвореном хидрогеотермалном систему дубине до око 1000 m,
- Зона температура виших од 90°C до максимално 150°C у затвореним хидрогеотермалним системима дубине преко 2.000 до 3.000 m.

Посебан геолошки положај заузимају термоминералне воде бање Љешљани, која се јавља на сјечишту уздужних и дијагоналних система расједа. Вода је хипералкална због повишеног садржаја Na и Cl.

Привидна веза ове воде са перидотитима из којих потиче није у сагласности са њеним хемијским саставом, па се примарни извори морају тражити у дубљим формацијама које леже испод перидотита (тријаски системи). При томе узроци овакве хипералкалности могу да буду или у стијенама које садрже повишене алкалије или у присуству фосилних вода. Карактеристично је да ове воде имају знатно вишу температуру, што такође указује на већу дубину.



Слика 1. Геолошка карта дијела Приједорске регије
Figure 1. Geological map of part of the Prijedor region

3. Минералне, термоминералне и термалне воде

На подручју Приједорске регије регистровано је више појава минералних, термалних и термоминералних вода. Воде су углавном везане за зоне

регионалних и дубоких, те вишефазно регенерисаних расједних чворишта у којима су формирани колектори најважнијих акумулација хидрогеотермалних система. Воде припадају хидрогеохемијским зонама:

- угљен диоксидне воде настале у области млађих термометаморфних процеса и тектонизација (Нишевићи, Вучковићи, Томинска Илица, Козичка Илица),
- азотне воде формиране у карбонатним стијенама и теренима изразите дислоцираности и неотектонских процеса (Црвено врело, Будимлић Јапра, Жегер, Копривна),
- азотометанске и сумпорне воде (Љешљани, Јеловац и др.).

У погледу рејонизације (слика 2) издваја се:

- Приједорско - Омарска депресија (Нишевићи, Вучковићи),
- унутрашња офиолитска зона (Љешљани, Јеловац),
- палеозојско - мезозојски блок (Жегер, Будимлић Јапра, Копривна, Црвено Врело, Томинска Илица, Козичка Илица).

Ова рејонизација је релативна и не треба је схватити као прецизну дистрибуцију терена, а дата је на основу степена познавања појава и истражености појединих локалитета. Основне карактеристике минералних, термалних и термоминералних вода дате су у слиједећим табелама.

Табела 1. Термоминералне воде Приједорске регије

Table 1. Thermal mineral waters of the Prijedor region

Карактеристике воде		Љешљани СБ-1	Санска Илица
Температура	°C	29,50	26,00
Реакција pH		11,90	6,80
Натријум Na ⁺	mg/l	940,00	55,00
Калијум K ⁺	mg/l	12,00	4,50
Калцијум Ca ²⁺	mg/l	18,00	564,25
Магнезијум Mg ²⁺	mg/l	0,08	72,97
Хидрокарбонат HCO ₃	mg/l	0,00	207,40
Сулфати SO ₄ ⁻²	mg/l	2,47	1494,97
Хлориди Cl	mg/l	1067,00	71,00
Карбонати CO ₃ ⁻²	mg/l	42,14	
Укупна минерализација	l/sec	2394,00	2500,00
Укупна тврдоћа	°d	2,54	96,02
Издашност	l/sec	7,50	35,00
Енергетски потенцијал	KWh/god	5,39x10 ⁶	27,8 x10 ⁶
Резерве	l/sec	28,18	1,72

Посебно треба истакнути гасне карактеристике термоминералних вода бање Љешљани. Висок садржај метана CH_4 упућивао је раније истраживаче на могућност да ова вода потиче из лежишта угљоводоника. Истражним бушењем, међутим, то још увијек није доказано.

Табела 2. Хемијске анализе гаса који се ослобађа из воде бање Љешљани

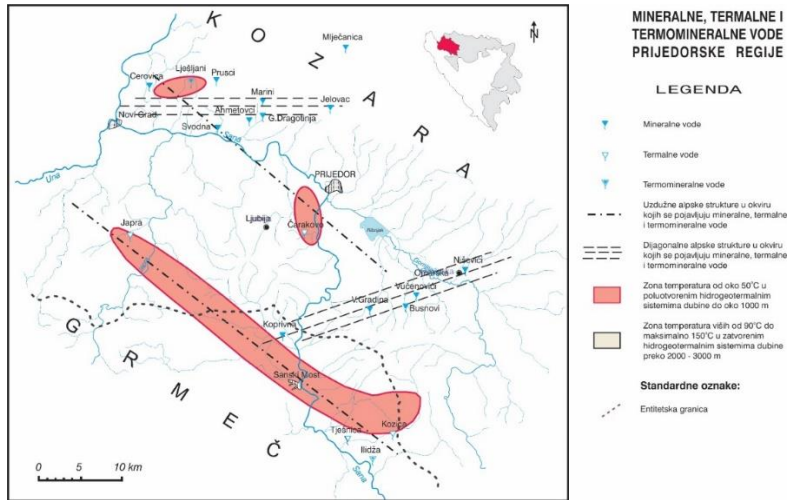
Table 2. Chemical analyzes of the gas released from the water of the Lješljani spa

N_2	32,100%
O_2	0,100%
Ar	0,330%
CH_4	54,600%
етан	7,800%
n-бутан	0,800%
i-бутан	0,705%
остали угљоводоници	1,000%

Табела 3. Термалне воде Приједорске регије

Table 3. Thermal waters of the Prijedor region

Карактеристике воде		Будимлић Јапра	Чараково	Козица	Тјешница
Температура	°C	17,00	23,00	21,00	16,00
Искористива температура на Т референтно 12°C	°C	5,00	11,00	9,00	4,00
Издашност	l/sec	15,00	1,00	6,00	20,00
Минерализација	mg/l	450,00	570,00	1,5	450,00
Хидрокарбонат HCO_3	mg/l	374,54	268,40	231,80	-
Хлориди Cl	mg/l	4,20	15,20	3,00	-
Сулфати SO_4^{2-}	mg/l	57,61	23,84	42,59	-
Калцијум Ca^{2+}	mg/l	62,80	60,91	49,69	-
Магнезијум Mg^{2+}	mg/l	30,16	31,13	26,27	-
Натријум+Калијум $\text{Na}^+ + \text{K}^+$	mg/l	2,54	38,06	3,38	-
Снага	MWth	0,17	0,14	0,22	0,33
Енергија	J/godx10 ¹³	0,53	0,44	0,69	1,06
Енергија	KWh/godx10 ⁶	1,47	1,22	1,90	2,94
Енергија	teu/god	180,00	150,00	250,00	350,00
Енергија	t.ekv. nafte/god	130,00	100,00	170,00	250,00



Слика 2. Минералне, термалне и термоминералне воде приједорске регије
 Figure 2. Thermal, mineral and thermomineral waters of the Prijedor region

Прогнозирање потенцијалних акумулација минералних, термалних и термоминералних вода је веома сложен геолошки посао који подразумева анализу великог броја података о геолошким, хидрогеолошким, геотектонским и геотермалним карактеристикама терена који се истражује.

На основу прикупљених података, методом аналогије и колерације издвојене су три зоне за проналажење минералних, термалних и термоминералних вода:

- јако потенцијалне зоне - перспективне средине на којима су већ познате појаве минералних, термалних и термоминералних вода,
- потенцијалне зоне - хидрогеолошки интересантне средине у којима нису уочене појаве минералних, термалних и термоминералних вода, али су повољне геолошке, геотектонске и хидрогеолошке карактеристике у погледу постојања тих вода,
- површине са нејасно израженом перспективношћу у погледу проналажења минералних, термалних и термоминералних вода.

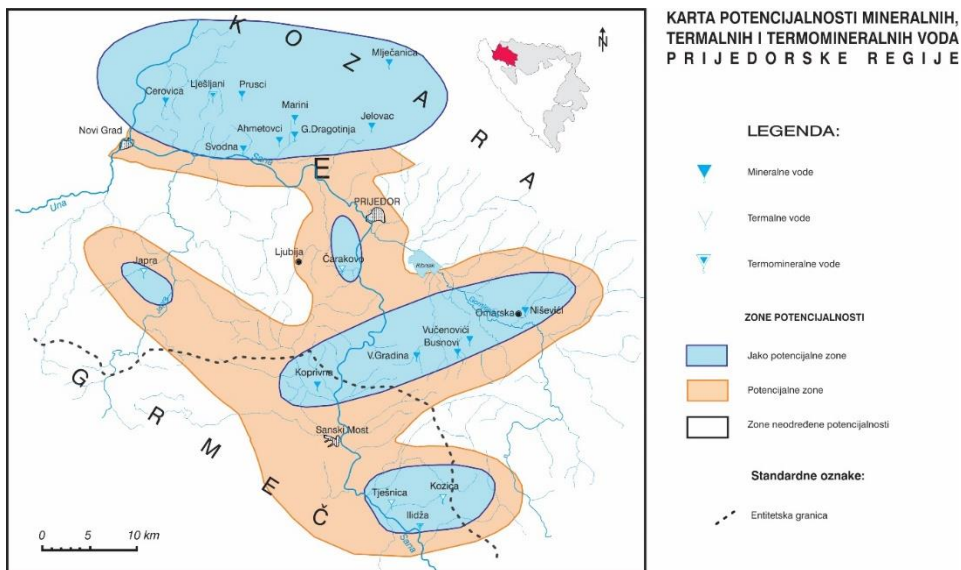
Резултати досадашњих истраживања нису довољни за тачнија одређивања резерви минералних, термалних и термоминералних вода, па се углавном може говорити о процијењеним резервама, а оне би износиле како слиједи:

- минералне воде 10 l/sec.
- термалне воде 42 l/sec.
- термоминералне воде 200 l/sec.

Табела 4. Минералне воде Приједорске регије
Table 4. Mineral waters of the Prijedor region

Карактеристике воде	Локалитет										
	Масевица	Језовиц	Коприна	В.Градина	Бусови	Вучковићи	Нишевићи	Г.Драгогоница	Скопца	Прустин	Церовица
Температура	12	7	14	-	-	18	-	14	14	11	14
pH	-	7	-	7,60	6,00	7,00	7,00	-	-	-	-
Натријум Na ⁺	31,00	10,20	2,12	27,00	-	-	-	35,00	561,00	-	53,00
Калцијум Ca ²⁺	3,72	1,60	3,82	1,70	-	-	-	-	-	-	-
Калијум K ⁺	201,97	150,00	42,29	82,70	39,50	123,80	93,34- 343,60	454,00	147,00	-	315,00
Магнезијум Mg ²⁺	26,27	36,60	11,29	22,00	0,50	56,72	219,25- 704,05	146,00	70,00	-	224,00
Железо Fe	0,10	-	0,21	0,10	-	0,85	-	-	-	-	-
Хлориди Cl	1,90	10,60	2,12	7,10	-	62,13	21,30- 312,40	-	337,00	1218,00	-
Сулфати SO ₄ ²⁻	555,36	138,00	7,80	7,00	-	7,70	80,40- 917,60	1460,00	438,00	17,00	1596,00
Нитрати NO ₃ ⁻	0,33	1,37	-	0,00	и траг.	-	-	-	-	-	-
Нитрити NO ₂ ⁻	0,00	-	-	0,00	и траг.	-	-	-	-	-	-
Хидрокарбонати HCO ₃ ⁻	73,20	414,80	170,80	262,30	103,70	-	403,82- 1427,40	54,00	1095,00	85,00	201,00
Амонијум NH ₄ ⁺	-	0,10	-	0,00	-	-	-	-	-	-	-
Сумпорводоник H ₂ S	2,80	4,22	-	0,10	-	-	-	-	-	-	-
Слободни CO ₂	30,87	48,40	1487,20	17,60	-	-	-	-	-	-	-
Суви остатак	1200,00	561,00	205,90	250,00	259,00	-	381,00- 2425,00	-	-	-	-
Укупна тврдоћа CaCO ₃	-	-	-	8,10	5,43	28,90	85,46- 169,12	-	-	-	-
Карбонатна тврдоћа CaCO ₃	-	-	-	-	4,76	32,60	18,54- 83,32	-	-	-	-
Укупна минерализација	965,26	770,00	530,00	381,00	-	-	-	3540,00	1550,00	2210,00	2640,00
Издашност	5,00	Непросј.	0,10	-	-	-	-	1,00	0,01	-	0,10

На основу изнесеног, може се закључити да је истраженост и степен коришћења садашњих извора и бушотина незнатна, мада се ради о значајним потенцијалима.



Слика 3. Карта потенцијалности
Figure 3. Potentiality map

У циљу проналажења сигурних акумулација минералних, термалних и термоминералних вода и њихове експлоатације и заштите потребно је провести комплетна истраживања од стране разних специјалиста (геолога, хидрогеолога, геофизичара, хемичара, технолога, еколога).

4. Закључак

Огромно природно богатство у новије вријеме је дефинисано у потенцијалним резервама минералних, термалних и термоминералних вода. До сада, једино се минерална вода користи у бањске сврхе у Мљечаници. У тој зони има више извора минералне воде сличног састава. Утврђена лежишта минералне воде са љековитим својствима у Омарској и Нишевићима реална су основа за изградњу капацитета за комерцијалну тржишну производњу. Термоминерална хипералкална вода Љешљана детаљно је балнеолошки дефинисана. Потребно је извршити хидрогеолошка доистраживања због доказа употребљивости ове воде за топлотну енергију. Иначе и по досадашњим сазнањима могуће је инвестирање и комерцијализација ове минералне сировине за бањски и рекреативни туризам. Потребно је инвестирање у

експлоатацију. ово вриједи и за остале појаве термалних и термоминералних вода, зависно од резултата истраживања.

Активности у погледу минералних вода између потенцијалних локалитета треба, у првом реду, усмјерити на локалитет „Нишевићи“.

5. Литература

- [1] Јурић М Геологија подручја Санског палеозоику у Сјеверозападној Босни, *Геолошки гласник*, посебно издање, Сарајево, с. 146, 1970.
- [2] Чворовић Љ, Минералне воде у зони хорстова и ровова (Мајевице, Козаре, Мотақјице и Просаре), *Геолошки гласник* бр.22, Сарајево, с. 153-186, 1977.
- [3] Миошић Н, Могућности истраживања и кориштења хидротермалних потенцијала Босанске Крајине, *Саветовање о енергетским потенцијалима Босанске Крајине*, Зборник радова, Сански Мост, с. 21-43, 1985.
- [4] Чичић С, Миошић Н, *Геотермална енергија Босне и Херцеговине*, Геоинжењеринг, Сарајево, с.205, 1986.
- [5] Цвијић Р, Протић Љ, *Програм хидрогеолошких истраживања минералних вода на подручју металогенетске области Љубија*, Фонд стручне документације РЖР „Љубија“ Приједор, с.26, 1991.
- [6] Протић Љ, Ећим Б, *Извјештај о готовости пројекта: производња и флаширање минералне воде*, Фонд стручне документације РИ Приједор, 2000.
- [7] Цвијић Р, *Геоменаџмент у функцији кориштења и развоја минералних ресурса Љубијске металогенетске области*, Приједор, 2004.

ФИЗИЧКО-ХЕМИЈСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ПОДЗЕМНИХ ВОДА НА ПРОСТОРУ КОЗЛУКА КОД ЗВОРНИКА

PHYSICAL-CHEMICAL PROPERTIES OF GROUNDWATER IN THE AREA OF KOZLUK NEAR ZVORNIK

НИКОЛА НИКОЛИЋ¹
ВАСО НОВАКОВИЋ²

Стручни рад
DOI: 10.5937/VIK24165N

Резиме: За потребе водоснабдевања, како становништва, тако и привреде на неком простору, неопходно је обезбедити довољне количине подземне воде, задовољавајућег квалитета. Водоснабдевање на простору Републике Српске врши се углавном подземним водама. Из тог разлога, неопходно је познавати физичко-хемијске карактеристике подземне воде. На простору Козлука, истраживања су вршена за различите потребе, и том приликом су изведени објекти који су каптирали различите типове издани. У овом раду су приказани и систематизовани сви доступни резултати који се односе на квалитет подземних вода до којих се дошло током истраживања на простору Козлука, код Зворника у североисточном делу Босне и Херцеговине, које су у новије време изводили и аутори овог рада.

Кључне речи: квалитет, подземна вода, издан, Козлук

Abstract: For the needs of water supply, both residential and commercial in an area, it is necessary to provide sufficient quantities of groundwater of satisfactory quality. Water supply in the area of Republic of Srpska is done mostly with groundwater. For this reason, it's necessary to know physical-chemical properties of groundwater. In the area of Kozluk, research was carried out for different needs, and on that occasion, objects were constructed that captured different types of aquifer. This paper presents and systematizes all the available results related to the quality of groundwater that were obtained during research in the area of Kozluk, near Zvornik in the northerneast part of Bosnia and Herzegovina, which were recently performed by the authors of this paper

Key Words: quality, groundwater, aquifer, Kozluk

¹ Никола Николић, ИПИН доо, - Институт за примијењену геологију и водоинжењеринг, Видовданска 48, Бијељина, Босна и Херцеговина, nikolanikolic@ipin-institut.com, ORCID: 0009-0004-0261-8776

² Васо Новаковић, ИПИН доо - Институт за примијењену геологију и водоинжењеринг Видовданска 48, Бијељина, Босна и Херцеговина, vasonovakovic@ipininstitut.com, ORCID: 0009-0009-7999-3992

1. Увод

Простор Козлука, који уједно предстаља и подручје овог рада, налази се на простору града Зворника, у североисточном делу Републике Српске, односно Босне и Херцеговине (слика 1).

На самом простору Козлука изведена су бројна истраживања. Први доступни подаци о овом простору односе се на минералне воде и потичу са краја 19. века, а први истражни радови изведени су током 1954. године [3]. Први бунар за захватање минералне воде изведен је 1972. године, а експлоатација минералне воде је започела 1976. године.



Слика 1. Географски положај Козлука, БиХ
Figure 1. Geographical location of Kozluk, BiH

Током 1975. године на простору Зворника вршени су истражни радови алувијона реке Дрине. Тада су изведене 3 истражне бушотине, које су резултирале извођењем бунара питке воде. У периоду од 2002-2006. година, на простору Козлука настављени су истражни радови за потребе захватања подземне воде из алувијона реке Дрине. Током поменутог периода изведене су 4 истражне бушотине и 3 нова бунара [7].

Поред истражних радова за захватање подземне питке воде, истраживања на овом делу терена вршена су и за захватање минералне воде. У периоду од 2002-2003. изведен је обиман број радова, који је обухватио геолошко и хидро-

геолошко картирање терена, као и геофизичка испитивања терена. Резултати поменутих истраживања послужили су за дефинисање локације нових објеката за захватање минералне воде. Бунар К-6 изведен је 2003. године, до дубине од 158,0 m [4], и користи се и данас за потребе рада фабрике Витинка АД у Козлуку.

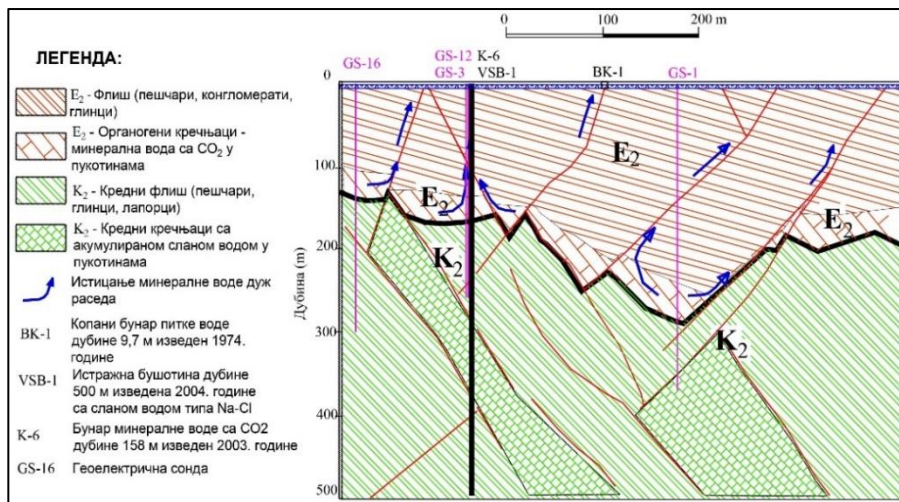
На основу резултата геофизичких испитивања терена, током 2003. и 2004. године изведена је структурно-истражна бушотина ВС-1 (С-1). Бушотина је изведена до дубине од 500,0 m, и њоме су захваћени кредни кречњаци и лапорци који се налазе у подини еоцена [6].

Током бушења К-6 и ВС-1 извршено узорковање набушеног материјала за палеонтолошку и петролошку анализу. Палеонтолошке и минералошко-петрографске анализе су по први пута дефинисале старост односно стратиграфску припадност набушеног материјала [5].

Током 2023. године изведени су истражни радови за обезбеђење додатних количина минералне воде. Том приликом су изведена геофизичка испитивања терена, бушење истражне бушотине до дубине од 167,0 m, проширење и претварање у бунар, зацевљење, разрада, испирање и тестирање бунара К-7 [8].

Поред извођења поменутих објеката на простору Козлука за различите потребе, вршене су и лабораторијске анализе подземне воде.

На наредној слици приказан је хидрогеолошки профил преко простора Козлука са шематским приказом наведених издани.



Слика 2. Хидрогеолошки профил преко простора Козлука
Figure 2. Hydrogeological profile across the area of Kozluk

На основу корелације изведених геофизичких истраживања и набушене литологије терена, на простору Козлука је утврђено да се налазе 3 издани:

- Прва по дубини је фреатска издан (питка вода) акумулирана у шљунковито-песковитом слоју алувијона реке Дрине на дубини 4,0 до 12,0 m;
- Друга издан је (минерална вода са повишеним садржајем CO₂) формирана у кречњацима средњееоценске старости на дубини од око 119,0 – 134,0 m у зони ВС-1; 123,0 – 147,0 у зони К-6; 121,0 – 148,0 у зони К-7;
- Трећа по дубини издан акумулирана у слоју кречњака значајне моћности на дубини 300 до 377 m, са испуцалим зонама посебно у интервалима 312 до 319 m. Поред тога набушен је и испуцао кречњак и на дубини 415 до 419,5 m.

Из профила терена приказаног на слици 2 јасно је да дуж раседа који пресецају стенске масе до дубина и преко 500 m долази до циркулације воде вертикално на горе, и тако до делимичног природног мешања вода издани различитог хемизма.

Циљ овог рада је да се кроз анализу и систематизацију резултата лабораторијских одређивања физичко-хемијских параметара подземне воде на простору Козлука, из аквифера различитих литостратиграфских карактеристика прикаже простирање аквифера са подземном водом различитог хемизма.

2. Методе истраживања

У циљу успешних хидрогеолошких истраживања примењене су геофизичке сеизмометријске методе рефлективне и рефрактивне сеизмике и електрометријске методе испитивања. За извођење истражно-експлоатационих бушотина односно бунара су коришћене тзв. ДТХ (Down the hole) методе бушења, а уграђене су бунарске цијевне конструкције од инокса и Џонсонови филтери велике порозности. За потребе дефинисања хидрохемијских карактеристика подземне воде, односно физичко-хемијског састава подземне воде, коришћене су стандардне методе узорковања воде, њихов транспорт до лабораторије и мерење нестабилних параметара на самом месту узорковања.

Узорковање подземне воде за лабораторијску анализу вршено је према стандарду БАС ЕН ИСО 5667. Приликом узорковања подземне воде, извршена је и конзервација узорака воде који, су одвојени за испитивање садржаја гвожђа и мангана у води [2]. Анализе узорака подземне воде вршене су у акредитованим лабораторијама Завода за јавно здравље Републике Српске у Зворнику и Бања Луци, те Градског завода за јавно здравље у Београду и лабораторији ИПИН Института у Бијељини.

Поред тога, израдом великог броја истраживања, те пратећих Елабората, као и систематизацијом добијених резултата, те увидом у резултате ранијих истраживања, извршена је реинтерпретација постојеће литературе и фондурске документације, са обрадом доступних резултата.

У наредном тексту су презентовани резултати претходно изведених физичко-хемијских анализа подземне воде из различитих издани на простору Козлука, Босна и Херцеговина.

3. Резултати и дискусија

Испитивањем физичко-хемијских параметара подземне воде на простору Козлука, из издани различите литостратиграфске припадности, уочене су неке правилности. У наредној табели дат је преглед добијених резултата основних физичко-хемијских параметара подземне воде. Поред приказаних параметара, на слици 3 дат је Пиперов дијаграм основног састава подземне воде.

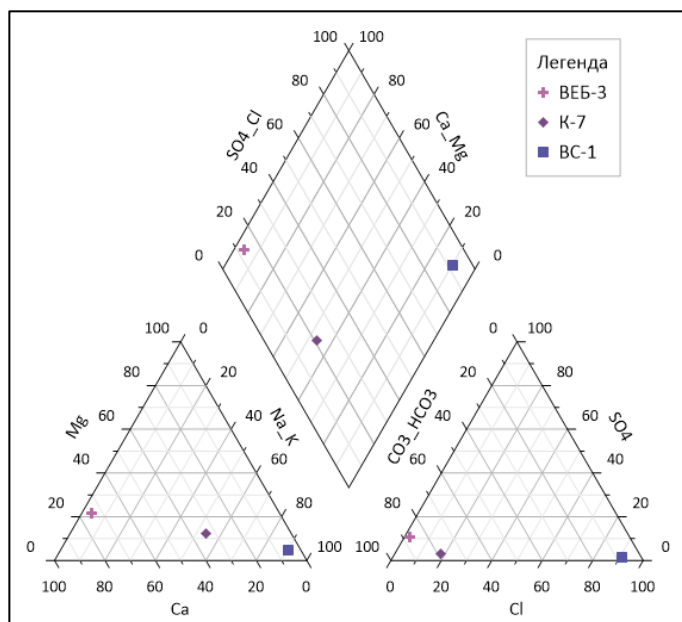
На основу резултата анализа и са дијаграма се може закључити да воде из седимената квартарне старости (прва издан) припадају хидрокарбонатној класи, калцијумској групи класификације према О. А. Алекину [1]. Припадају тврдим водама класификације према Клути, а према минерализацији припадају пресним водама класификације према А. М. Овчиникову. У првој издани често је повишен садржај гвожђа [9], што се види на резултатима анализа. Имајући у виду да су квартарне наслаге представљене песковима, шљунковима и валутицама са нижим рН, те изостанак зоне аерације, за очекивати је био овакав основни хемијски састав подземне воде.

Табела 1. Резултати испитивања физичко-хемијских параметара подземне воде на простору Козлука

Table 1. The results of testing the physico-chemical parameters of groundwater in the area of Kozluk

Параметар	VEB-3 (I издан)	К-7 (II издан)	BC-1 (III издан)
рН вредност	6,8	6,76	7,78
Ел. пров. $\mu\text{S}/\text{cm}$	630,0	1.664,0	15.200,0
Утрошак KMnO_4 (mg/l)	1,9	<0,5	22,23
Испарни остатак (mg/l)	410,0	1.017,0	7.960,0
Укупна тврдоћа $^{\circ}\text{dH}$	19,18	30,97	28,28
Fe (mg/l)	1,43	0,20	-
Mn (mg/l)	0,15	0,13	-

Воде из издани са минералном водом (друга издан), односно кречњака средњеоценске старости припадају хидрокарбонатној класи, натријумско-калијумској групи. Припадају врло тврдим водама класификације према Клу-ту, док према минерализацији припадају сланкастим водама према А. М. Овчинкову. У минералној води утврђено је присуство CO_2 и H_2S гаса.



Слика 3. Пиперов дијаграм основног састава воде на простору Козлука
 Figure 3. Piper's chart of the basic composition of water in the area of Kozluk

Воде из треће по дубини издани, односно кречњака кредне старости припадају хлоридној класи, натријумско-калијумској групи класификације према О. А. Алекину. За разлику од минералне воде, резултати хемијске анализе бушотине ВС-1 су показали да се ради о благоалкалној води (рН око 7,8) са високим садржајем хлорида (око 3.500,0 mg/l), електропроводљивошћу и испарног остатка. Воде ове издани припадају сланим водама класификације према О. А. Овчинкову, те имају изузетно слан укус. Није дефинисано присуство гасова CO_2 и H_2S .

4. Закључак

У раду су презентовани резултати анализе физичко-хемијских параметара подземне воде на простору Козлука, код Зворника. На поменутом простору истражним радовима је захваћено 3 различите издани, и то прва по дубини

питке воде из аквифера квартарне старости са израженим интергрануларним типом порозности, друга издан минералне воде из аквифера средњеоцеанске старости са израженим пукотинским типом порозности и трећа издан слане воде из аквифера кредне старости са израженим пукотинско-карстним типом порозности.

Резултати анализа показују да воде из прве по дубини издани, спадају у маломинерализоване воде и осим повишеног садржаја гвожђа, сви параметри физичко-хемијског састава воде одговарају важећем Правилнику. Минералне воде из кречњака средњеоцеанске старости спадају у сланкасте воде, и у њима је утврђено присуство CO_2 и H_2S гаса, а по квалитету се могу користити за потребе флаширања. Воде треће издани, односно из кречњака кредне старости спадају у слане воде, са веома високим садржајем хлорида, високом вредности електропроводљивости и испарног остатка. Воде треће издани се не могу користити за људску употребу, нити за потребе флаширања као минерална вода.

Намера аутора је да стручној и широј јавности презентује резултате истраживања на простору Козлука, који могу бити од користи код будућих истраживања, коришћења и заштите подземних вода овог подручја. Саопштена сазнања такође треба да истакну потенцијалне ризике од нестручног извођења дубоких бушотина и бунара у зонама са водама различитог физичко-хемијских особина, због могућности значајне промене квалитета подземних вода појединих издани као последица лоше међусобне изолације у прстенастом простору између зида бушотине и бунарске цеви, што би могло у крајњем довести и до трајног прекида производње минералне воде.

5. Литература

- [1] Димитријевић Н, Папић П, *Хидрохемија методе хемијских анализа природних вода и хидрохемијска истраживања*, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, ООУР Група за хидрогеологију, Београд, 1989.
- [2] Група аутора, *Вода за пиће – Стандардне методе за испитивање хигијенске исправности*, Савезни завод за здравствену заштиту, Београд, 1990.
- [3] Јосиповић Ј, Минералне, термалне и термоминералне воде на територији Босне и Херцеговине, *Геолошки гласник* број 15, Сарајево, 1971.
- [4] Новаковић В. и други, *Елаборат о бушењу и тестирању истражно-експлоатационог бунара минералне воде К-6 фабрике Витинка АД Козлук*, ДОО ИПИН, Бијељина, 2003.
- [5] Новаковић В. и други, *Хидрогеолошке карактеристике издани минералне воде „Витинка“ у Козлуку*, 33. *Конференција о актуелним проблемима коришћења и заштите вода Вода 2004*, Борско језеро, 2004.

- [6] Новаковић В. и други, *Елаборат о бушењу и испирању дубоке истражне структурне бушотине ВС-1 за потребе фабрике Витинка у Козлуку*, општина Зворник, ДОО ИПИН, Бијељина, 2004.
- [7] Новаковић В. и други, *Елаборат о бушењу и тестирању бушеног бунара ВЕБ-3 за потребе водоснабдевања АД „Витинка“*, Зворник, ДОО ИПИН, Бијељина, 2006.
- [8] Новаковић В. и други, *Елаборат о изведеним допунским детаљним геофизичким и хидрогеолошким истраживањима налазишта минералне воде „Витинка поље“*, Козлук код Зворника, ДОО ИПИН, Бијељина, 2024.
- [9] Правилник о здравственој исправности воде намијењене за људску употребу, *Службени гласник Републике Српске*, број 88/17 и 93/23

УПОРЕДНА АНАЛИЗА ПОСТУПАКА УКЛАЊАЊА ЦИЈАНОТОКСИНА ИЗ ПОВРШИНСКИХ ВОДА

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR THE REMOVAL OF CYANOTOXINS FROM SURFACE WATERS

РАДА ПЕТРОВИЋ¹
СЛАВИЦА ЛАЗАРЕВИЋ²

Прегледни стручни рад
DOI: 10.5937/VIK24173P

Резиме: Цијанобактерије су веома распрострањене плаво-зелене алге које се интензивно развијају у стајаћим водама са великим садржајем хранљивих материја, првенствено услед антропогених активности. Прекомерно формирање цијанобактерија, тзв. цветање алги, довело је и до алармантног пораста садржаја цијанобактеријских токсина у води. Постоје четири групе цијанотоксина: хепатотоксини, цититоксини, неуротоксини и дерматотоксини, који штетно утичу на здравље људи, флору и фауну. Због тога је законодавство Европске уније (Директива о води за пиће 2020/2184) предвидело праћење концентрације једног цијанотоксина, микроцистина LR из групе хематотоксина, тако да се до јануара 2026. године морају предузети мере да концентрација овог цијанотоксина буде мања од 1 µg/L. У овом раду су анализиране доступне информације о ефикасности различитих физичко-хемијских поступака за уклањање цијанотоксина из површинских вода. Поред поступака који се примењују за уклањање цијанобактеријских ћелија, посебно су разматрани поступци који се примењују или се развијају за уклањање цијанотоксина: оксидација + адсорпција, мембрански поступци и унапређени оксидациони поступци.

Кључне речи: цијанотоксини, унапређени оксидациони поступци, адсорпција.

Abstract: Cyanobacteria are highly prevalent blue-green algae that grow in stagnant and nutrient-rich water bodies, mainly due to antropogenic activities. The excessive grown of cyanobacteria, so called algae bloom, has resulted in an alarming surge of cyanobacterial toxins. There are four groups of cyanotoxins: hepatotoxins, cytotoxins, neurotoxins and dermatoxins, which adversely affect human health, flora and fauna. That is why the legislati-

¹ Рада Петровић, Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет, Карнегијева 4, Београд, radaab@tmf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0001-9511-5633

² Славица Лазаревић, Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет, Карнегијева 4, Београд, slazarevic@tmf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-9748-9353

on of the European Union (Drinking Water Directive 2020/2184) has foreseen the monitoring of the concentration of one cyanotoxin, microcystin LR from the group of hepatotoxins, so that by January 2026, measures must be taken to ensure that the concentration of this cyanotoxin is less than 1 µg/L. In this paper, the available information on the effectiveness of various physico-chemical procedures for the removal of cyanotoxins from surface waters was analyzed. In addition to the procedures applied for the removal of cyanobacterial cells, the methods applied or developed for the removal of cyanotoxins were specially: oxidation + adsorption, membrane filtrations and advanced oxidation processes.

Key Words: cyanotoxins, advanced oxidation processes, adsorption

1. Увод

Превелика експлоатација природних ресурса и брз развој индустрије и пољопривреде је довео и до повећања садржаја хранљивих материја у природним водама, пре свега азота и фосфора, што узрокује еутрофикацију и цветање алги, односно цијанобактерија. Иако су познатије под именом плаво-зелене алге, цијанобактерије су по организацији најсличније бактеријама, јер немају диференцирано једро. Нагло размножавање ћелија и масовни развој цијанобактеријске биомасе у условима повишених температура (21-27°C) и повећаног садржаја нутријената доводи до смањења: концентрације раствореног кисеоника, доступности хранљивих материја за друге врсте и продирања сунчеве светлости до врста на већим дубинама, а посебан проблем са здравственог аспекта је ослобађања тзв. цијанобактеријских токсина током и након цветања. Уколико се одржавају повољни услови, цветања могу трајати и по неколико месеци, при чему се смењује иста или различите популације.

Цијанотоксини се могу класификовати на основу хемијског састава или токсиколошких интеракција. Најопштија подела према хемијском саставу обухвата цикличне пептиде (нпр. микроцистин), алкалоиде (нпр. анатоксин) и липополисахариде (нпр. ендотоксин). Међутим, цијанотоксине производе различите врсте цијанобактерија, па постоји велика разноликост структура чак и унутар једног типа токсина, па тако, нпр. постоји више од 85 варијанти само микроцистина. Такође, различити цијанотоксини могу имати различите механизме деловања код сисара, па се класификују и на основу њихових токсичних ефеката: хепатотоксини (утичу на јетру), неуротоксини (утичу на нервни систем), цитотоксини (утичу на одређене ћелије) и дерматотоксини (утичу на кожу). За неке од ових цијанотоксина се показало да доводе и до канцерогених утицаја током времена [1, 2].

Због ових потенцијалних штетних утицаја на здравље људи, веома је важно располагати одговарајућим техникама за праћење садржаја цијанотоксина и поступцима за третман вода. Детекција цијанотоксина може бити веома захтевна због неодговарајуће границе детекције аналитичких техника, високих

аналитичких трошкова и заједничког појављивања више цијанотоксина са вишеструким механизмима деловања који се не могу детектовати истом техником. Још већи изазови постоје за уклањање цијанотоксина из воде, где више различитих једињења различите структуре може коегзистирати и бити потенцијално токсично при ниским концентрацијама. Стога, технологије за третман вода које садрже цијанотоксине морају бити ефикасне, неспецифичне и способне да постигну високо уклањање при ниским концентрацијама [2].

Имајући у виду све већи антропогени утицај на животну средину и климатске промене, односно све већи степен загађивања природних вода и више температуре, законодавство Европске уније (Директива о води за пиће 2020/2184) је предвидело праћење концентрације цијанотоксина који се најчешће јавља при цветању алги, микроцистина LR (MC-LR), тако да се до јануара 2026. године морају предузети мере да концентрација овог цијанотоксина буде мања од 1 µg/L [2].

У овом раду су анализирани доступне информације о различитим физичко-хемијским поступцима за уклањање генерално цијанотоксина и специфично микроцистина LR из природних вода. Цијанотоксини су или везани за ћелије цијанобактерија или се налазе растворени у води. Већина цијанотоксина је примарно везана за ћелије и сваки поступак којим се уклањају неопштећене цијанобактеријске ћелије представља и ефикасан поступак уклањања везаних цијанотоксина. Све стратегије уклањања цијанотоксина из воде се могу, дакле поделити у две групе: уклањање интрацелуларних цијанотоксина (уклањање целих ћелија) и уклањање екстрацелуларних (растворених) цијанотоксина. Без обзира на сва истраживања која су спроведена, и даље не постоји поступак којим би се уклониле и цијанобактеријске ћелије и цијанотоксини растворени у води, па је неопходно применити вишестепени третман [2].

2. Уклањање интрацелуларних цијанотоксина

Један од најчешће примењиваних поступака за уклањање интрацелуларних цијанотоксина је пре-оксидација, којом се инактивирају цијанобактеријске ћелије. Најчешће се примењују KMnO_4 , хлор и озон. Међутим, ова оксидациона средства могу потенцијално оштетити цијанобактеријске ћелије, а да не оксидишу цијанотоксине који су се при томе ослободили у воду. Тиме се повећава ризик од формирања дезинфекционих споредних продуката током накнадне дезинфекције воде. Због тога, дозу оксиданса треба оптимизовати да се разграде и растворени токсини [2].

Коагулација, као стандардни поступак у системима припреме воде за пиће од површинских вода, је неефикасна у случају уклањања растворених цијанотоксина, али је веома ефикасна у уклањању цијанобактеријских ћелија и

цијанотоксина који су везани за ћелије. Литературни подаци показују да ефикасност коагулације веома зависи од врста цијанобактерија и квалитета воде. Након флокулације, примењује се сепарација седиментацијом, флотацијом или мембранском филтрацијом, нпр. микрофилтрацијом или ултрафилтарацијом. Треба нагласити да се коагулацијом ефикасно уклањају цијанобактерије из воде, али се оне концентришу у муљу или пени, где може доћи до оштећења ћелија и ослобађања токсина, што условљава неопходност одговарајућег руковања отпадом и његовог одлагања.

Мембранске филтрације (микрофилтрација, ултрафилтрација, нанофилтрација и реверзна осмоза) се такође примењују за уклањање цијанобактеријских ћелија, а у случају нанофилтрације и реверзне осмозе се уклањају и растворене материје (органике материје и токсини). Међутим, примена мембранских поступака има одређена ограничења, првенствено услед прљања мембрана што смањује њихову пермеабилност и условљава неопходност сталног одржавања и чишћења. Такође, процес филтрирања може оштетити ћелије и довести до ослобађања токсина у воду.

3. Уклањање екстрацелуларних цијанотоксина

3.1. Физички процеси

Адсорпција на спрашеном и гранулисаном активном угљу (АУ), је најчешће примењиван поступак уклањања растворених цијанотоксина. Спрашени АУ се додаје пре коагулације да би се обезбедило довољно дуго контактано време и уклања се из воде у процесу коагулације/флокулације/сепарације. Највећи број истраживања је посвећен уклањању МС-LR на спрашеном АУ, при чему је показано да су најефикаснији АУ добијени од угља и дрвета захваљујући великој запремини мезопора. И гранулисани АУ се такође примењује у облику филтера, при чему ефикасност уклањања микроцистина зависи од истих параметара као и уклањање растворених органских материја, односно од врсте гранулизованог АУ и контактног времена, али и од садржаја других растворених органских материја. Иако се цијанотоксини уклањају релативно ефикасно на овај начин, неке врсте цијанотоксина се слабо адсорбују, као нпр. анатоксин (АТХ) и сакситоксин (СТХ). Основни аспекти примене адсорпције су могућност регенерације и поновне употребе адсорбента, као и диспозиција засићеног адсорбента. Да би процес адсорпције био економичнији и еколошки прихватљивији, испитивани су и други адсорбенти који би били јефтинији, имали већи адсорпциони капацитет и који би могли да се регенеришу на еколошки прихватљивији начин. Највећи потенцијал су показали нови карбонски материјали, као што је графен-оксид, мезопорозни карбон и др. Међутим, већина испитивања са новим адсорбентима је извођена у

лабораторијским условима, па је неопходно утврдити перформансе ових адсорбената у пилот постројењима и реалним постројењима [3].

Мембранске филтрације се могу примењивати и за уклањање растворених цијанотоксина, али само нанофилтрација (НФ) и реверзна осмоза (РО), јер микрофилтри и ултрафилтри имају поре веће од димензија молекула микроцистина. Величина пора, површинска хемија мембране, поларност, наелектрисање и хидрофилност цијанотоксина су фактори који одређују ефикасност уклањања цијанотоксина овим техникама, па ће уклањање бити ефикасно за неке цијанотоксине, а за неке не. Основни проблем који се јавља и у овом случају је прљање мембрана, првенствено органским материјама које настају при разарању ћелија цијанобактерија. Због тога се у неким случајевима пре НФ или РО постављају ултрафилтрационе мембране да би се уклониле материје које доводе до прљања мембрана. Поред наведених, проблем примене мембранске филтрације за уклањање цијанотоксина је и висока цена ових техника, поготово када су у питању мали системи [1, 2].

UV зрачење ефикасно инактивира микроорганизме, али није ефикасно за уклањање цијанотоксина из воде. Међутим, вакуум UV (VUV) коришћењем фотона високе енергије ($< 200 \text{ nm}$) омогућава формирање хидроксилних радикала који имају велики оксидациони потенцијал за разградњу цијанотоксина, што је показано на примеру MC-LR у неколико истраживања.

3.2. Хемијски поступци

Хемијски поступци се базирају на примени јаких оксидационих средстава који доводе до разградње цијанотоксина.

Хлор се показао као ефикасан оксиданс за неке типове цијанотоксина (нпр. MC), али за неке не (нпр. за АТХ). Додатно, присуство других органских материја смањује ефикасност оксидације цијанотоксина. Иако хлорисање доводи до формирања дезинфекционих споредних продуката, нека истраживања су показала да се токсичност смањује након хлорисања. Као и у случају испитивања нових адсорбената, мало је података о уклањању цијанотоксина хлорисањем у реалним условима, у време цветања алги [1, 2].

Постоји мало података о примени ClO_2 и хлорамина за уклањање цијанотоксина. Показано је да ClO_2 ефикасно трансформише MC-LR и смањује токсичност, али за друге цијанотоксине нема много података. Монохлорамини су слаби оксиданти и реагују веома споро са цијанотоксинима, па су непогодни за третман вода у којима долази до цветања алги.

Озон се показао као веома ефикасан оксиданс за разлагање растворених цијанотоксина, али постоји значајна разлика у ефикасности за различите цијанотоксине. Нпр. MC-LR се много ефикасније разлаже од АТХ. Слично као

и код хлора, потребна доза озона зависи од концентрације других органских материја, реакционог времена, температуре и рН вредности. Други параметри квалитета воде, као што је нпр. алкалитет, такође имају утицаја на ефикасност озонизације [1, 2, 4].

Имајући у виду да наведени оксиданси немају довољно велики оксидациони потенцијал да у потпуности разграде цијанотоксине, процеси оксидације се често комбинују са процесом адсорпције на активном угљу, да би се адсорпцијом уклониле материје које су настале у реакцији оксиданаса са цијанотоксинима. Такође, развијају се нови, унапређени оксидациони процеси (advanced oxidation processes - AOPs), који подразумевају комбиновање ових оксидационих средстава са другим, чиме се формирају радикали великог оксидационог потенцијала, најчешће хидроксилни (OH^\bullet), који онда могу да реагују ефикасно са цијанотоксинима [2, 4].

3.3. Унапређени оксидациони процеси

Постоје бројни AOPs јер хидроксилни и други радикали могу настати на различите начине, који се генерално могу поделити на фотохемијске и нефотохемијске. У фотохемијским процесима се примењује UV зрачење или видљива светлост, а нефотохемијски процеси користе другачије методе генерисања радикала [2, 4].

3.3.1. Нефотохемијски процеси

Најзначајнији поступци који се примењују за разградњу цијанотоксина, а не користе зрачење за генерисање радикала, јесу процеси у којима се користе: комбинација озона и водоник-пероксида, Фентонов реагенс и оксидација озоном у базној средини.

У базној средини, са повећањем концентрације OH^- јона, интензивира се разградња озона, при чему настају супероксидни ($\text{O}_2^{\bullet-}$) и хидроксилни радикали. У оваквим условима, оксидација у систему се одвија комбинацијом реакција са озоном и реакција са радикалима, при чему и озон и радикали реагују на сличан начин, нападом на незасићене C=C, ароматичне системе и неутралне аmine.

Трансформација озона и формирање хидроксилних радикала се може убрзати применом водоник-пероксида, што представља основу регохон поступка. Ефикасност оксидације зависи од више фактора, као што су: концентрација цијанотоксина, рН вредност воде, време контакта, доза озона, доза H_2O_2 , однос доза озона и H_2O_2 , али и присуство јона који могу да „хватају“ радикале. При томе, H_2O_2 може бити додат пре озона, после озона или заједно са њим. Постоји велики број истраживања која су потврдила ефикасност AOPs процеса са озоном у процесу оксидације како MC-LR, тако и ATX [1, 2, 4].

Оксидациона способност водоник-пероксида може се знатно повећати применом соли прелазних метала, најчешће гвожђа, чиме се добија тзв. Фентонов реагенс (смеша Fe^{2+} и H_2O_2), који је један од најефикаснијих оксиданаса за цијанотоксине. Каталитичком разградњом H_2O_2 , првенствено у киселој средини, настају хидроксилни и други радикали, који имају снажно оксидационо деловање. Бројна истраживања су показала да је оксидација Фентоновим реагенсом ефикасна само у киселим условима, и то у релативно уском опсегу рН вредности ($\text{pH} = 2 - 4$), што је објашњено тенденцијом Fe^{3+} јона да се при вишим рН вредностима таложи у облику хидроксида или оксихидроксида, што онемогућује регенерацију Fe^{2+} јона. Оваква зависност ефикасности оксидације од рН вредности у знатној мери ограничава примену Фентоновог реагенса, посебно у припреми воде за пиће [2, 4].

3.3.2. Фотохемијски процеси

Употреба УВ зрачења за фоторазградњу загађујућих супстанци у води може се класификовати у три основне групе:

1. Директна фоторазградња (фотолиза), која подразумева директно побуђивање загађујућих супстанци УВ зрачењем, што има ограничену примену, јер мали број сложених једињења као што су цијанотоксини подлеже директној фотолизи.

2. Фотооксидација, у којој УВ зрачење иницира оксидативни процес захваљујући стварању OH^\cdot радикала при коришћењу H_2O_2 , O_3 и Фентоновог реагенса ($\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$). У случају H_2O_2 , O_3 и комбинације H_2O_2 и O_3 , УВ зрачење убрзава настајање OH^\cdot радикала, чиме се повећава ефикасност разградње цијанотоксина у односу на нефотохемијске процесе. Применом УВ зрачења на Фентонов реагенс могуће је регенерисати Fe^{2+} јоне фоторедукцијом Fe^{3+} јона, захваљујући чему се наставља циклус радикалских реакција.

3. Фотокаталитичка оксидација (хетерогена фотокатализа), која је базирана на озрачивању катализатора, најчешће полупроводника, чиме се стварају електрон – донорска места (редукциона места) и електрон – акцепторска места (оксидациона места).

Полупроводници који се користе за фотокаталитичку оксидацију цијанотоксина треба да имају одговарајућу ширину забрањене зоне да могу да се активирају УВ зрачењем или чак видљивом светлошћу и да имају одговарајућу позицију валентне зоне тако да настале шупљине имају велики оксидациони потенцијал.

Испитивани су бројни полупроводници за фотокаталитичку разградњу цијанотоксина, пре свега MC-LR. Један од фотокатализатора који се највише примењује је TiO_2 , захваљујући хемијској и фотохемијској стабилности, от-

порности на корозију и одговарајућој позицији зона. Показано је да се разградња заснива доминантно на разградњи Ада аминокиселине и цикличне структуре у МС-LR, који су најподложнији дејству хидроксилних радикала и других реактивних врста које настају активирањем фотокатализатора. Бројна истраживања су посвећена унапређењу фотокаталитичке ефикасности TiO_2 у циљу проширења прага апсорпције и смањења брзине рекомбинације допирањем и формирањем хетероспојева са другим полупроводницима и наночестицама метала. Поред TiO_2 , примењивани су и бројни други полупроводници, самостално или у комбинацији, као нпр. BiOBr , Bi_2WO_6 , Ag-TiO_2 , $\text{AgBr/Ag}_3\text{PO}_4/\text{TiO}_2$, $\text{Ag/Ag}_2\text{O-BiVO}_4$, који су показали велики потенцијал за уклањање цијанотоксина из воде [1, 2, 4].

4. Закључак

Цијанотоксини представљају све већи проблем за водоснабдевање због све већег загађивања природних вода нутријентима и климатских промена, што погодује развоју цијанобактерија. Постојећи системи за припрему воде за пиће омогућавају уклањање цијанобактерија, али нису довољно ефикасни за уклањање растворених цијанотоксина. Оксидациона средства која се примењују у конвенционалним постројењима за припрему воде за пиће, хлор и озон, не обезбеђују потпуну разградњу цијанотоксина, па се унапређени оксидациони процеси развијају да би се повећао оксидациони потенцијал и омогућила минерализација цијанотоксина. Највећи потенцијал имају процеси у којима се примењује UV или видљиво зрачење, као што је фотокаталитичка оксидација коришћењем полупроводника као фотокатализатора.

5. Литература

- [1] Zhan M, Hong Y, Recent advances in technologies for removal of microcystins in water: a review, *Curr. Pollut. Rep*, 8, 113–127, 2022.
- [2] Kulabhusan P. K, Campbell K, Physico-chemical treatments for the removal of cyanotoxins from drinking water: Current challenges and future trends, *Sci. Total Environ*, 917, 170078, 2024.
- [3] El Bouaidi W, Enaime G, Loudiki M, Yaacoubi A, Douma M, Ounas A, Lübken M, Adsorbents used for microcystin removal from water sources: current knowledge and future prospects, *Processes*, 10, 1235, 2022.
- [4] Yu B, Zhang Y, Wu H, Yan W, Meng Y, Hu C, L. Z, Ding J, Zhang H, Advanced oxidation processes for synchronizing harmful microcystis blooms control with algal metabolites removal: From the laboratory to practical applications, *Sci. Total Environ*, 906, 167650, 2024.

**УКЛАЊАЊЕ ФОСФАТА ИЗ ВОДЕ ПРИМЕНОМ
АДСОРБЕНАТА НА БАЗИ СЕПИОЛИТА И ОКСИ-
ХИДРОКСИДА ЛАНТАНА**

**REMOVING OF PHOSPHATES FROM WATER USING
ADSORBENTS BASED ON SEPIOLITE AND LANTHANUM OXY-
HYDROXIDES**

ЖЕЉКА МИЛОВАНОВИЋ¹

СЛАВИЦА ЛАЗАРЕВИЋ²

ИВОНА ЈАНКОВИЋ-ЧАСТВАН³

СЛОБОДАН ЦВЕТКОВИЋ⁴ РАДА ПЕТРОВИЋ⁵

Оригинални научни рад

DOI: 10.5937/VIK24181M

Резиме: Повећано присуство фосфора у природним водама изазива еутрофикацију, која представља све већи проблем за водоснабдевање, посебно у случају природних и вештачких језера (акумулација). Еутрофикација се може успорити смањењем уноса овог елемента, пре свега пречишћавањем отпадних вода пре испуштања у реципијенте. Адсорпција је један од најефикаснијих и најекономичнијих поступака за уклањање фосфора из воде, али само уколико се користе адсорбенти великог адсорпционог капацитета и ниске цене. У овом раду су синтетисани композитни адсорбенти коришћењем јефтиног глиненог минерала сепиолита као носача за наночестице окси хидроксида лантана, који има велики капацитет за фосфатне јоне. Капацитети композитног адсорбента и узорка који је добијен термичким третманом на 500°C су

¹ Жељка Миловановић, Универзитет у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију, Његошева 12, Београд, zeljka.milovanovic@ihtm.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-1998-5239

² Славица Лазаревић, Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет, Карнегијева 4, Београд, slazarevic@tmf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-9748-9353

³ Ивона Јанковић-Частван, Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет, Карнегијева 4, Београд, icastvan@tmf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-8434-0058

⁴ Слободан Цветковић, Универзитет у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију, Његошева 12, Београд, slobodan.cvetkovic@ihtm.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0003-4417-4443

⁵ Рада Петровић, Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет, Београд, radaab@tmf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0001-9511-5633

упоређени са капацитетом лантан-хидроксида, при $\text{pH} = 4$ и $\text{pH} = 8$. Некалцинисани узорак је имао већи капацитет од калцинисаног, а капацитет овог узорака по јединици масе лантана је био већи него капацитет лантан-хидроксида.

Кључне речи: фосфати, композитни адсорбент, окси-хидроксида лантана, сепиолит

Abstract: The increased presence of phosphorus in natural waters causes eutrophication, which is a growing problem for water supply, especially in the case of natural and artificial lakes (reservoirs). Eutrophication can be slowed down by reducing the input of this element, primarily by treatment of waste water before their discharge into recipients. Adsorption is one of the most effective and economical methods for removing phosphorus from water, but only if adsorbents with high adsorption capacity and low cost are used. In this work, composite adsorbents were synthesized using the cheap clay mineral sepiolite as a carrier for nanoparticles of lanthanum oxy-hydroxide, which has a high capacity for phosphate ions. The capacities of the composite adsorbent and the sample obtained by thermal treatment at 500°C were compared with the capacity of lanthanum hydroxide, at $\text{pH} = 4$ and $\text{pH} = 8$. The uncalcined sample had a higher capacity than the calcined one, and the capacity of this sample per unit mass of lanthanum was higher than the capacity of lanthanum hydroxide.

Key Words: phosphates, composite adsorbents, lanthanum oxy-hydroxide, sepiolite

1. Увод

Фосфор (P) је важан нутријент за раст водених биљака и микроорганизама. У језера доспева као фосфат из отпадних вода и са пољопривредног земљишта, али такође и из језерских седимената. Да би се спречила или успорила еутрофикација, која настаје због повећане концентрације фосфора у води, потребно је смањити унос фосфора из свих извора. Ово се може постићи пречишћавањем отпадних вода пре него што се испусте у водене токове и додавањем средстава за везивање фосфора у седиментима [1].

За уклањање фосфора из отпадних вода најчешће се користе биолошки процеси и хемијско таложење [2]. Међутим, ови процеси имају неколико недостатака: релативно мала ефикасност, настајање отпадног талоба и велики оперативни трошкови. Са друге стране, адсорпција се показала као један од најефикаснијих и најекономичнијих поступака за уклањање различитих загађујућих материја из воде, али само уколико се користе адсорбенти великог адсорпционог капацитета и ниске цене [3].

У том циљу, испитивана је могућност примене различитих јефтених природних и отпадних материјала као адсорбената за уклањање фосфора из отпадних вода, али су адсорпциони капацитети ових материјала веома мали због мале специфичне површине, малог афинитета функционалних група и/или негативног површинског наелектрисања, имајући у виду да је P присутан у воденој средини у облику фосфатних аниона (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} или H_2PO_4^- , у зависности од pH) [4]. Захваљујући могућности специфичне адсорпције

кисело-базним интеракцијама, многи оксиди/хидроксида метала су коришћени као адсорбенти за фосфате [5]. Због изузетне селективности према фосфатним јонима, високе хемијске стабилности и нешкодљивости по животну средину, оксиди/хидроксида лантана (La) су показали велики потенцијал за уклањање фосфата из воде [6]. Као и у случају других адсорбената, са смањењем величине честица, повећава се специфична површина, а тиме и адсорпциони капацитет. Међутим, честице веома малих димензија показују велику склоност ка агрегацији, што води смањењу специфичне површине, а тиме и адсорпционог капацитета. Да би се спречила агрегација и обезбедио висок садржај активних врста за адсорпцију фосфата, наночестице оксида/хидроксида La су дисперговане на различите материјале ниске цене, велике специфичне површине и одговарајуће порозности, као што су зеолит [6], бентонит [7], магнетит [8], био-керамзит [9], хитозан [10] итд.

Један од природних минерала који има велику специфичну површину и велику порозност и може се користити за депоновање оксида/хидроксида La у циљу добијања адсорбената за фосфате, је сепиолит, $\text{Si}_{12}\text{Mg}_8\text{O}_{30}(\text{OH})_4(\text{OH}_2)_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, који припада 2:1 триоктадарским силикатима. Међутим, сепиолит није „прави“ слојевити силикат због дисконтинуалности октадарског Mg-слоја и инверзије Si-слоја, услед чега настају канали у структури. Структурни канали су испуњени зеолитском водом и изменљивим јонима. Захваљујући оваквој структури, честице сепиолита су у облику влакана, на чијој спољашњој површини се налазе силанолне (Si-OH) групе, преко којих се могу везати функционалне групе La. Велика специфична површина сепиолита је резултат управо присуства структурних канала и влакнасте морфологије честица, али јаке ван дер Валсове интеракција између влакана доводе до формирања снопова, услед чега се смањује специфична површина. Међутим, основни разлог веома малог афинитета сепиолита према анијонима генерално, а тиме и према фосфатима, је негативно површинско наелектрисање. Имајући у виду да оксиди/хидроксида La не би били економични адсорбенти због релативно високе цене и склоности ка агрегацији честица, у овом раду су синтетисани композитни адсорбенти депоновањем окси-хидроксидних врста La на површину сепиолита у облику неагломерисаних наночестица или танког слоја. Капацитети синтетисаног адсорбента и узорка који је добијен термичким третманом на 500°C су упоређени са капацитетом лантан-хидроксида, при $\text{pH} = 4$ и $\text{pH} = 8$.

2. Експериментални део

Као полазна сировина у експерименталном раду коришћен је сепиолит из лежишта Андрићи код Чачка, фракција честица $< 250 \mu\text{m}$. У суспензију

сепиолита и дејонизоване воде, која је третирана ултразвучном сондом у току 4 минута додат је раствор лантан-нитрата ($\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) у дејонизованој води. Добијена суспензија је третирана ултразвучном сондом у току 2 минута, а затим мешана на магнетној мешалици током 1 h, при чему је рН вредност суспензије износила 4,5. рН вредност је затим подешена на 10 додавањем амонијака (25% NH_3), након чега је суспензија мешана још 1 h. Тако припремљени узорак (SEP-La) је након 24 h центрифугиран, испран дејонизованом водом и сушен на 105°C . Термичким третманом на 500°C узорка SEP-La добијен је калцинисан узорак (SEP-LaK). Коришћењем наведеног поступка синтезе без присуства сепиолита добијен је лантан-хидроксид ($\text{La}(\text{OH})_3$).

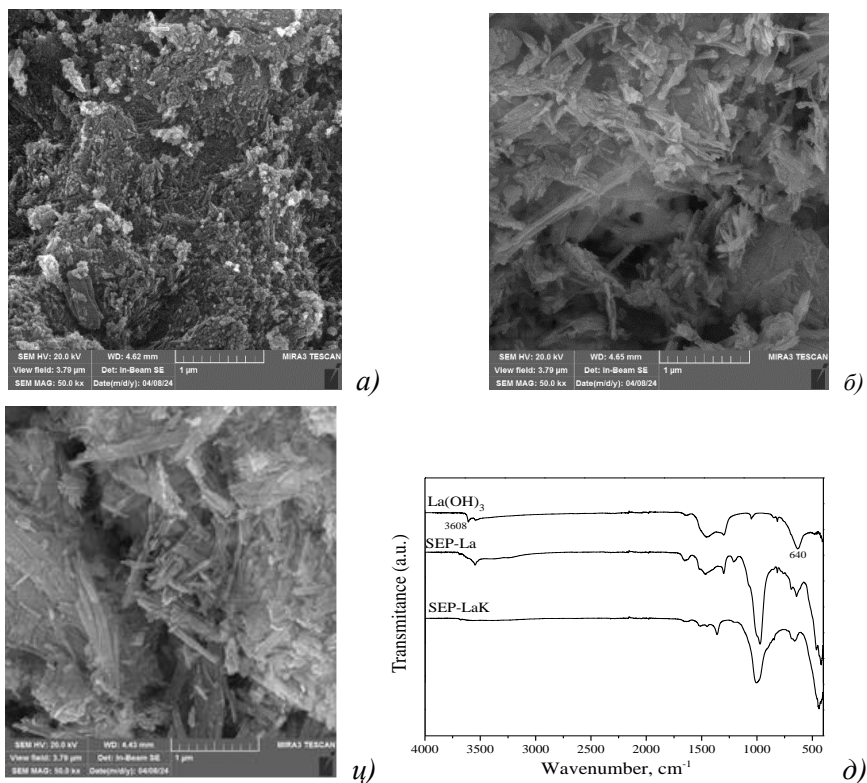
За карактеризацију узорака коришћене су скенирајућа електронска микроскопија (SEM) (Tescan MIRA3), енергетска дисперзиона спектроскопија (EDS) (Oxford instruments INCA x-act) и инфрацрвена спектроскопска анализа са Фуријеовом трансформацијом (FTIR) (Thermo Scientific Nicolet iS10). Адсорпциони капацитет (q_c) одређен је при почетним рН вредностима $4,0 \pm 0,1$ и $8,0 \pm 0,1$, у равнотежавањем $0,02 \text{ g}$ узорка са 20 ml раствора различитих почетних концентрација, у термостату са шејкером, на 25°C , у току 24 h. Концентрација фосфора у полазним и растворима након адсорпције одређена је применом UV-VIS спектофотометрије на таласној дужини од 880 nm (Shimadzu UV 1800).

3. Резултати и дискусија

У табели 1 су приказани резултати EDS анализе узорака SEP-La, SEP-LaK и $\text{La}(\text{OH})_3$. Састав $\text{La}(\text{OH})_3$ је приближан теоријском саставу (73,1 мас. % La, 26,9 мас. % O), што указује на чистоћу узорка, без других елемената присутних у значајним количинама. Код узорака SEP-LaK и SEP-La резултати EDS анализе су показали присуство магнезијума, силицијума, кисеоника, гвожђа и калцијума као главних елемената у сепиолиту, као и лантана (La) који је резултат модификације. Такође се уочава да је масени удео La у узорку SEP-LaK већи у односу на узорак SEP-La, док је масени удео кисеоника мањи, што може да буде резултат промене структуре сепиолита током термичког третмана на 500°C , односно губитка зеолитске и везане воде, као и дехидратације $\text{La}(\text{OH})_3$, при чему настаје La_2O_3 .

Табела 1. Резултати EDS анализе узорака $\text{La}(\text{OH})_3$, SEP-La и SEP-LaK (у мас. %)
 Table 1. Results of EDS analysis of the $\text{La}(\text{OH})_3$, SEP-La and SEP-LaK (in wt. %)

Sample	O	La	Mg	Si	Ca	Fe
$\text{La}(\text{OH})_3$	25,75	74,25	-	-	-	-
SEP-La	45,56	29,24	9,48	15,20	0,08	0,44
SEP-LaK	39,66	34,27	9,48	16,08	0,07	0,44

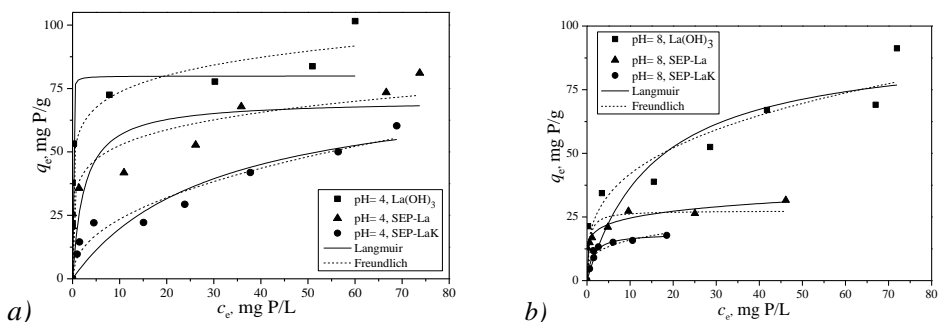


Слика 1. SEM микрографије узорака а) $\text{La}(\text{OH})_3$, б) SEP-La и в) SEP-LaK; д) FTIR спектри узорака $\text{La}(\text{OH})_3$, SEP-La и SEP-LaK

Figure 1. SEM micrographs of samples a) $\text{La}(\text{OH})_3$, b) SEP-La, c) SEP-LaK; d) FTIR spectra of samples $\text{La}(\text{OH})_3$, SEP-La and SEP-LaK

На SEM микрографији представљеној на слици 1а јасно се уочава штапићаста структура која је карактеристична за $\text{La}(\text{OH})_3$, као и да штапићи нанодимензија формирају агрегате. Честице $\text{La}(\text{OH})_3$ распоређене дуж влакана сепиолита уочавају и на SEM микрографији узорка SEP-La (слика 1б). Током термичке обраде, морфологија се није значајно променила (слика 1в), штапићаста структура која потиче од La_2O_3 се може приметити [11].

На FTIR спектару узорка $\text{La}(\text{OH})_3$ (слика 1д) могу се приметити траке на таласним дужинама 3608 cm^{-1} (вибрација истегања ОН групе $\text{La}(\text{OH})_3$) и на 640 cm^{-1} (вибрација La-O везе). У случају модификованих узорка уочавају се пикови карактеристични за сепиолит, а траке карактеристичне за фазу лантана се преклапају са тракама сепиолита. На основу овога се може закључити да је очувана основна структура сепиолита у композитима.



Слика 2. Адсорпционе изотерме за адсорпцију фосфата на узорцима $\text{La}(\text{OH})_3$, SEP-La и SEP-LaK при рН вредностима: а) $4,0 \pm 0,1$ и б) $8,0 \pm 0,1$
 Figure 2. Adsorption isotherms for phosphate onto $\text{La}(\text{OH})_3$, SEP-La and SEP-LaK at рН: а) $4,0 \pm 0,1$ and б) $8,0 \pm 0,1$

Адсорпциони капацитети сва три узорка су већи при рН = $4,0 \pm 0,1$ у поређењу са вредностима при рН = $8,0 \pm 0,1$ (слика 2). У испитиваном опсегу рН раствора, доминантне врсте фосфата у раствору су HPO_4^{2-} или H_2PO_4^- . При ниским рН вредностима долази до протонације површине ($\text{La-OH} + \text{H}^+ = \text{La-OH}^{2+}$) што узрокује да површина постане позитивно наелектрисана, што повећава електростатичку привlačност негативно наелектрисаних фосфата и доводи до уклањања фосфата формирањем унутрашњих комплекса.

Са повишењем рН вредности повећава се удео јона са већим негативним наелектрисањем (HPO_4^{2-}), док се позитивно наелектрисање на површини адсорбента смањује што доводи до смањења електростатичке привlačности између фосфатног аниона и адсорбента и доводи до смањивања адсорпције фосфата. Имајући у виду да је адсорпциони капацитет сепиолита за фосфате практично једнак нули, капацитет SEP-La и SEP-LaK је резултат присуства лантан-(окси)хидроксида. Адсорпциони капацитет је као што је очекивано највећи на узорку $\text{La}(\text{OH})_3$. Узимајући у обзир количину депоноване фазе лантана на сепиолиту, значајан адсорпциони капацитет је постигнут применом узорка SEP-La ($\sim 81 \text{ mg P/g}$ при рН = $4,0 \pm 0,1$ и $\sim 31 \text{ mg P/g}$, при рН = $8,0 \pm 0,1$) и SEP-LaK ($\sim 60 \text{ mg P/g}$ при рН = $4,0 \pm 0,1$ и $\sim 18 \text{ mg P/g}$, при рН = $8,0 \pm 0,1$). На основу резултата уочава се већа ефикасност некалцинисаног узорка у поређењу са калцинисаним и поред мањег удела лантана у некалцинисаном узорку, као последица већег присуства La-OH група као главних места за интеракцију са фосфатним врстама из раствора. Према резултатима нелине-арног фитовања (слика 2, табела 3), Freundlich-ов модел описује адсорпцију фосфата на сва три узорка и обе рН вредности боље од Langmuir-овог модела, што указује на закључак да се фосфати адсорбују на функционалним групама различитих енергија на површини La-фазе, вероватно протонираним непротонираним La-OH.

Табела 2. Параметри адсорпције и коефицијенти корелације (R^2) за адсорпцију фосфата на узорцима $\text{La}(\text{OH})_3$, SEP-La и SEP-LaK за Langmuir-ов и Freundlich-ов модел адсорпционе изотерме

Table 2. Adsorption equilibrium constants obtained from Langmuir and Freundlich isotherms for the adsorption of phosphate onto $\text{La}(\text{OH})_3$, SEP-La and SEP-LaK

Узорак	pH _i	Langmuir $q_e = \frac{q_m K_L c_e}{1 + K_L c_e}$			Freundlich $q_e = K_f c_e^{1/n}$		
		q_m mg/g	K_L dm ³ /mg	R^2	1/n	K_f (mg/g)(dm ³ /mg) ^{1/n}	R^2
La(OH) ₃	4,0 ± 0,1	79,93	39,22	0,832	0,123	55,33	0,947
	8,0 ± 0,1	93,57	0,064	0,790	0,315	20,26	0,915
SEP-La	4,0 ± 0,1	70,46	0,407	0,652	0,159	36,40	0,921
	8,0 ± 0,1	27,46	2,11	0,766	0,150	17,37	0,970
SEP-LaK	4,0 ± 0,1	78,75	0,033	0,855	0,446	8,41	0,948
	8,0 ± 0,1	18,55	0,774	0,962	0,256	8,84	0,907

(q_m – максимални адсорпциони капацитет, K_L - Langmuir-ова равнотежна константа, K_f и $1/n$ - константе Freundlich-овог модела, које се односе на адсорпциони капацитет и интензитет адсорпције)

4. Закључак

У овом раду су испитивани композитни адсорбенти базирани на сепиолиту и лантан-(окси)хидроксида за уклањање фосфата из водених раствора. На основу одређивања адсорпционих изотерми за адсорпцију фосфата, утврђено је да је некалцинисан узорак ефикаснији у поређењу са калцинисаним, што се приписује очувању функционалних група које доприносе већој адсорпционој способности. Капацитет овог узорка по јединици масе лантана је био већи него капацитет лантан-хидроксида, што указује на значај употребе носача као што је сепиолит. Већи адсорпциони капацитети композита утврђен су при почетној рН вредности $4,0 \pm 0,1$. Механизам адсорпције укључује електростатичу интеракцију између површинских функционалних група композита и HPO_4^{2-} или H_2PO_4^- из раствора уз формирање унутрашњих комплекса. На основу добијених резултата, може се закључити да се сепиолит може успешно употребити као носач наночестица лантан-(окси)хидроксида, при чему се добијају композити који представљају ефикасно и економично решење за уклањање фосфата из воде, са могућношћу примене за контролу еутрофикације и заштиту водних ресурса.

5. Захвалница

Рад је реализован уз финансијску подршку Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије (уговор бр. 451-03-66/2024-03/200026, 451-03-65/2024-03/200135).

6. Литература

- [1] Kiani M, Tammeorg P, Niemistö J, Simojoki A, Tammeorg O, Internal phosphorus loading in a small shallow Lake: Response after sediment removal, - *Sci. Total Environ.*, 725, 138279, 2020.
- [2] Dong Q, Shi S, Xie Y, Wang Y, Zhang X, Wang X, Guo S, Zhu L, Zhang G, Xu D, Preparation of mesoporous zirconia ceramic fibers modified by dual surfactants and their phosphate adsorption characteristics, - *Ceram. In.*, 46, 14019–14029, 2020.
- [3] Liu T, Zheng S, Yang L, Magnetic zirconium-based metal–organic frameworks for selective phosphate adsorption from water, - *J. Colloid Interf Sci.*, 552, 134–141, 2019.
- [4] Ya W, Zhao H. D. L, Liud Q, Tao Q, Zhua Y, Yanga J, Zhang Y. M, Kinetics, isotherm, thermodynamic, and adsorption mechanism studies of La(OH)₃-modified exfoliated vermiculites as highly efficient phosphate adsorbents, - *Chem. Eng. J.*, 236, 191–201, 2014.
- [5] Liu R, Chi L, Wang X, Sui Y, Wang Y, Arandiyani H, Review of metal (hydr)oxide and other adsorptive materials for phosphate removal from water, - *J. Environ. Chem. Eng.*, 6, 5269–5286, 2018.
- [6] Goscianska J., Ptazkowska-Koniarz M., Frankowski M., Franus M., Panek R., Franus W.: Removal of phosphate from water by lanthanum-modified zeolites obtained from fly ash, - *J. Colloid Interf Sci.*, 513, 72–81, 2018.
- [7] Cao Y, Yu Wanga Y, Yue X, Yu Ch, Liu Y, Effect of preparation methods on phosphate removal of lanthanum-modified bentonite, *Desalin. Water Treat.*, 297, 2023, 160–168, 2023.
- [8] Song Q, Huang S, Xu L, Wang N, Hu Z, Luo X, Zheng Z, Synthesis of magnetite/lanthanum hydroxide composite and magnetite/ aluminum hydroxide composite for removal of phosphate, *Sci. Total Environ.*, 723, 137838, 2020.
- [9] Liu M. Wang Ch, Guo J, Zhang L, Removal of phosphate from wastewater by lanthanum modified bio-ceramisite, *J. Environ. Chem. Eng.*, 9, 106123, 2021.
- [10] Liu B, Yu Y, Han Q, Lou S, Zhang L, Zhang W, Fast and efficient phosphate removal on lanthanum-chitosan composite synthesized by controlling the amount of cross-linking agent, *Int. J. Biol. Macromol.*, 157, 247–258, 2020.
- [11] Karimzadeh I, Aghazadeh M, Safibonab B, Ganjali M. R, Dalvand S, Facile Preparation of La(OH)₃ and La₂O₃ Nanorods Aligned along the Electrode Surface: Pulsed Cathodic Deposition Followed by Heat Treatment, *Russ. J. Electrochem.*, 51, 263–270, 2015.

УКЛАЊАЊЕ ОДАБРАНИХ БАКТЕРИЈСКИХ СОЈЕВА ИЗ СИРОВЕ ВОДЕ ДЕЗИНФЕКЦИЈОМ НАТРИЈУМ ХИПОХЛОРИТОМ

REMOVAL OF SELECTED BACTERIAL STRAINS FROM RAW WATER BY DISINFECTION WITH SODIUM HYPOCHLORITE

МЛАДЕН ПОПОВ¹ ДРАГАНА ТАМИНЦИЈА²

АНА КУЗМАНОВИЋ³

МАРИЈАНА КРАГУЉ ИСАКОВСКИ⁴

ЈЕЛЕНА МОЛНАР ЈАЗИЋ⁵ ТАЈАНА СИМЕТИЋ⁶

АЛЕКСАНДРА ТУБИЋ⁷ ДРАГАН РАДНОВИЋ⁸ ЈАСМИНА АГБАБА⁹

Оригинални научни рад

DOI: 10.5937/VIK24189P

Резиме: Дезинфекција воде је есенцијална фаза у процесу водоснабдевања, која се спроводи у циљу обезбеђивања здравствено безбедне воде за пиће односно, представља последњу препреку у преношењу бактеријских и вирусних инфекција преко воде. Основни фактори који утичу на дезинфекциону ефикасност, а самим тим и на

¹ Младен Попов, ЈКП „Водовод и канализација“, Нови Сад, mladen.popov@vikns.rs, ORCID: 0009-0008-2921-6645

² Драгана Таминција, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Нови Сад, dragana.cusak@dbe.uns.ac.rs, ORCID:0000-0001-8179-8285

³ Ана Кузмановић, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, ana.volaric@dbe.uns.ac.rs, ORCID: 0000-0002-0684-439X

⁴ Маријана Крагуљ Исаковски, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Нови Сад, marijana.kragulj@dh.uns.ac.rs, ORCID: 0000-0002-6880-6735

⁵ Јелена Молнар Јазић, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Нови Сад, jelena.molnar@dh.uns.ac.rs, ORCID: 0000-0002-8696-7647

⁶ Тајана Симетић, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Нови Сад, tajana.djurkic@dh.uns.ac.rs, ORCID: 0000-0002-0923-7034

⁷ Александра Тубић, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Нови Сад, aleksandra.tubic@dh.uns.ac.rs, ORCID: 0000-0001-7503-7754

⁸ Драган Радновић, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Нови Сад, dragan.radnovic@dbe.uns.ac.rs, ORCID: 0000-0003-3753-1887

⁹ Јасмина Агбаба, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Нови Сад, jasmينا.agbaba@dh.uns.ac.rs, ORCID: 0000-0002-9915-2885

врсту процеса обраде воде су: врста и концентрација организама које треба уклонити, врста и концентрација дезинфектанта, време контакта и хемијски карактер и температура воде. Стога су у раду приказани резултати уклањања одабраних сојева у циљу испитивања ефикасне дозе и времена контакта натријум хипохлорита. Резултати показују да се применом овог дезинфицијенса ефикасно могу уклонити одабрани сојеви бактерија пореклом из воде након аерације. Постигнута је значајна редуција бројности бактерија у распону од 2 до 4 лог јединице у зависности од осетљивости соја, при C·t вредности од 120 min·mg/l, односно дози од 2 mg/l и времену контакта од 60 минута.

Кључне речи: микроорганизми, дезинфекција, третман воде за пиће, бројност микроорганизма

Abstract: Water disinfection is an essential phase in the water supply process conducted to ensure safe drinking water, serving as the last barrier against the transmission of bacterial and viral infections through water. The main factors affecting disinfection efficiency, and consequently the type of water treatment process, include the type and concentration of organisms to be removed, the type and concentration of the disinfectant, contact time, and the chemical nature and temperature of the treated water. Therefore, this paper presents the results of the removal of selected strains to examine the effective dose and contact time of sodium hypochlorite. The results show that the application of this disinfectant can effectively remove the selected strains. A significant reduction in bacterial count was achieved, ranging from 2 to 4 log units depending on the sensitivity of the strain, at a C·t value of 120 min·mg/l, i.e., a dose of 2 mg/l and a contact time of 60 minutes.

Key Words: microorganisms, disinfection, drinking water treatment, microorganism count

1. Увод

Дезинфекција воде представља један од најважнијих корака у обезбеђивању здравствено исправне воде за пиће, која је кључна за очување јавног здравља.

Вода као есенцијални ресурс има велики значај не само за задовољавање основних људских потреба, већ и за индустријске и пољопривредне активности. Међутим, сирове воде, без обзира на њихов извор, често садрже различите врсте микроорганизма, укључујући патогене бактерије, који могу представљати ризик по здравље људи [1].

Подземни извори воде, због природног филтера слојева земљишта, генерално се сматрају сигурнијим у односу на површинске изворе. Ипак, упркос овој природној филтрацији, подземне воде могу садржати значајне количине микроорганизма, укључујући колиформне бактерије, спорулишуће бактерије као што су *Clostridium perfringens* и *Bacillus cereus*, као и патогене бактерије попут *Salmonella*, *Shigella* и *Vibrio cholerae*.

Поред бактерија, присутни су и вируси, протозое и, у неким случајевима, гљиве, које такође могу допринети микробиолошком оптерећењу воде.

Због тога је дезинфекција воде кључна у процесу третмана воде пре њене употребе као воде за пиће. Најчешће примењивана метода за дезинфекцију је хлорисање, које се може спровести употребом различитих хлорних једињења. Међу њима, натријум хипохлорит се често користи због своје једноставности примене и високог степена ефикасности.

Поред уништавања микроорганизама, хлорисање такође може довести до формирања дезинфекционих нуспродуката, као што су трихалометани, који могу представљати дугорочан здравствени ризик ако се не контролишу адекватно [2].

Циљ овог рада је испитивање ефикасности натријум хипохлорита у уклањању одабраних бактеријских сојева из сирове воде, као и одређивање оптималне дозе и времена контакта за постизање максималне дезинфекционе ефикасности.

2. Материјал и методе

Испитивања су спроведена на узорцима воде узетим са улаза у ретенциони резервоар у фабрици воде на Сунчаном кеју, Нови Сад. Овај део постројења је одабран због важности почетног квалитета воде која улази у систем за даљу прераду [3, 4]. Вода је узоркована након фазе аерације, што омогућава да се идентификују и анализирају присутни микроорганизми и физичко-хемијски параметри пре почетка основних процеса филтрације и дезинфекције.

Концентрација укупног хлора у раствору натријум-хипохлорита одређивана је јодометријском методом, док је резидуални слободни и везани хлор (моноклорамин, дихлорамин и трихлорамин) у узорцима воде одређен титрацијом са феро-амонијум-сулфатом методом DPD.

рН вредност је мерена на уређају рН/ION 735, електропроводљивост електрокондуктометром HI 933.000, а мутноћа турбидиметром Turb TB 250 WL. УВ апсорбанција на 254 и 278 nm одређивана је на спектрофотометру UV-1800 Shimadzu.

Садржај укупног и раствореног органског угљеника (ТОС и ДОС) одређен је на апарату Elementar LiquiTOCII, док је биодеградабилни ДОС израчунат као разлика почетног и минималног ДОС.

Концентрације амонијака, нитрата, нитрита и ортофосфата, као и перманганатни индекс и тврдоћа воде, одређени су према релевантним стандардима [5].

За дезинфекцију је коришћен водени раствор натријум хипохлорита у концентрацији од 5 mg Cl₂/ml. Хлорисање је вршено при различитим почетним концентрацијама дезинфектанта, које су биле у распону од 0,5 до 10 mg Cl₂/l. Током хлорисања, праћена је концентрација резидуалног слободног хлора у води, као и формирање комбинованих облика хлора, коришћењем стандардних аналитичких метода.

Бројност бактерија у узорцима воде одређена је *spread plate* и *pour plate* методама. Инокулисане плоче хранљивог агара инкубиране су на 22°C током 72 сата и на 37°C током 48 сати. Након инкубације, извршено је бројање колонија, а бројност бактерија је изражена као CFU/ml (colony forming units).

Иzolовано је 19 најдоминантнијих и здравствено најзначајнијих бактеријских изолата. За даље испитивање одабран је један на процес дезинфекције умерено осетљив изолат (*Enterococcus faecium* 2) и један врло отпоран изолат (*Bacillus cereus* 13) продуцент ендоспора.

Минимална инхибиторна концентрација (МИС) и минимална бактерицидна концентрација (МВС) натријум хипохлорита одређене су стандардном микродилуционом методом у Милер-Хинтон бујону и узорцима воде. Ове концентрације одређују колико је хлора потребно да се заустави раст бактерија, односно да се убије 99.9% присутних бактерија. C_t вредност, која представља производ концентрације дезинфицијенса и времена контакта, одређена је за два одабрана бактеријска изолата из воде.

Експерименти су обухватили третирање ових изолата различитим концентрацијама натријум хипохлорита, а праћење је вршено на разним временским интервалима (0, 5, 10, 20, 30, 40 и 60 минута).

3. Резултати и дискусија

Табела 1 приказује резултате физичко-хемијских анализа узорака воде након аерације, али пре пешчане филтрације.

Табела 1. Физичко-хемијски параметри квалитета воде узорковане након аерације, а пре пешчане филтрације

Table 1. Physico-chemical parameters of water quality sampled after aeration and before sand filtration

Параметар	Мерна јединица	Резултати анализе воде
Температура	°C	19,65±0,16
Мутноћа*	NTU	4,15±1,34
pH	/	7,38±0,46

Параметар	Мерна јединица	Резултати анализе воде
Електропроводљивост	$\mu\text{S}/\text{cm}$	516 \pm 13,40
Слободан хлор	$\text{mg Cl}_2/\text{l}$	<0,05
УВ _{254nm}	cm^{-1}	0,10 \pm 0,01
Оксидабилност	$\text{mg KMnO}_4/\text{l}$	5,63 \pm 0,40
ТОС	mg C/l	1,72 \pm 0,08
DOC	mg C/l	1,38 \pm 0,38
Гвожђе*	mg/l	1,32 \pm 0,59
Манган*	mg/l	0,33 \pm 0,04
Амонијак*	mg N/l	0,45 \pm 0,11
Нитрати	mg N/l	<0,04
Нитрити	mg N/l	<0,005
Ортофосфати	mg P/l	0,14 \pm 0,03
Алкалитет	mmol/l	4,33 \pm 0,05
Тврдоћа	$\text{mg CaCO}_3/\text{l}$	243 \pm 2,0
* изнад максимално дозвољених концентрација према Правилнику о хигијенској исправности воде за пиће (Сл. лист СРЈ бр. 42/98 и 44/99 и Сл. гласник РС бр. 28/2019).		

Важно је истаћи да је мутноћа, као и концентрација амонијака, гвожђа и мангана, изнад максимално дозвољених концентрација према *Правилнику о хигијенској исправности воде за пиће* [6]. Ове повећане вредности могу се приписати процесима у слоју који се одигравају у току обалске филтрације [1].

Резултати микробиолошких анализа указују на присуство аеробних мезофилних и хетеротрофних бактерија у води на улазу у ретенциони резервоар. У једном узорку детектоване су и фекалне стрептококе, што представља показатељ могуће фекалне контаминације.

Минимална инхибиторна и бактерицидна концентрација натријум хипохлорита у Милер-Хинтон бујону и узорцима воде кретала се у широком опсегу од <1.25 до >1000 $\text{mg Cl}_2/\text{l}$, што указује на различиту ефикасност овог дезинфицијенса у различитим матриксама (табела 2).

Ови резултати су у складу са очекивањима, с обзиром на високу оксидациону моћ хлора у срединама са ниским садржајем органске материје каква је вода на улазу у ретенциони резервоар, док је ефикасност хлора умногоме смањена у срединама с високом концентрацијом органске материје.

Табела 2. Минималне инхибиторне и бактерицидне концентрације натријум хипохлорита за 2 бактеријска соја

Table 2. Minimum inhibitory and bactericidal concentrations of sodium hypochlorite for 2 bacterial strains

Изолат	У присуству органске материје				У води на улазу у ретенциони резервоар		
	MIC(mgCl ₂ /l)	MBC (mg Cl ₂ /l)			MBC (mg Cl ₂ /l)		
	24h	10min	60min	24h	10min	60min	24h
2	<125	500	50	500	<1.25	<1.25	<1.25
13	500	>1000	>1000	>1000	10	5	5

У експериментим одређивања С·t вредности применом натријум хипохлорита, уочена је значајна редукција бројности бактерија и до 4 лог јединице у зависности од бактеријског изолата, концентрације хлора и времена контакта. С·t вредности за два изолата су показале да је доза од 2 mg Cl₂/l са временом контакта од 60 минута довољна за постизање жељеног нивоа инаktivације микроорганизама (табела 3).

Табела 3. Предикција ефективних С·t вредности за 1- и 2-лог инаktivацију бактеријских изолата

Table 3. Prediction of effective C·t values for 1- and 2-log inactivation of bacterial isolates

Инаktivација микроорганизама <i>Enterococcus faecium</i> 2	C·t (mg·min/l)	C (mg Cl ₂ /l)	
		40 min	60 min
1-log	37	0,9	0,6
2-log	75	1,9	1,2
Инаktivација микроорганизама <i>Bacillus cereus</i> 13	C·t (mg·min/l)	C (mg Cl ₂ /l)	
		40 min	60 min
1-log	159	4,0	2,6
2-log	317	7,9	5,3

Према добијеним подацима С·t вредности за инаktivацију *Enterococcus faecium* (2) су 37 mg·min/l за 1 лог, односно 75 mg·min/l за 2 лог редукцију.

Вредности $C \cdot t$ за инактивацију *Bacillus cereus* су око 4 пута веће и износе 159 $\text{mg} \cdot \text{min}/\text{l}$ за 1 log, односно 317 $\text{mg} \cdot \text{min}/\text{l}$ за 2 log редукацију.

Овај резултат је у складу са претходним студијама које показују да се са повећањем концентрације хлора и времена контакта смањује бројност преживелих бактерија [7].

На основу добијених резултата може се закључити да је при времену од 60 минута контакта потребно вршити дезинфекцију дозом од 0,6 $\text{mg Cl}_2/\text{l}$ за 1 log редукацију односно 1,2 $\text{mg Cl}_2/\text{l}$ за 2 log редукацију осетљивог *Enterococcus faecium* 2. За исту редукацију отпорне бактерије, продуцента ендоспора *Bacillus cereus* 13 било би потребно применити око 4 пута вишу дозу, тј. 2,6 $\text{mg Cl}_2/\text{l}$ за 1 log, односно 5,3 $\text{mg Cl}_2/\text{l}$ за 2 log редукацију бројности. Треба имати у виду и то да продуценти ендоспора чине само мањи део укупно присутних аеробних мезофила, за које би и ниже дозе биле ефикасне.

4. Закључак

На основу добијених резултата, може се закључити да је натријум хипохлорит ефикасан дезинфицијенс за уклањање бактеријских сојева из сирове воде. Применом дозе од 2 $\text{mg Cl}_2/\text{l}$ и временом контакта од 60 минута, постиже се значајна редукација бројности бактерија, што обезбеђује безбедну воду за пиће. Међутим, стабилност раствора хипохлорита може бити проблематична уколико се не поштују услови складиштења, што може утицати на његову ефикасност.

Резултати овог истраживања су од великог значаја за побољшање процеса дезинфекције у локалним водоводима и могу послужити као основа за даља истраживања у овој области.

Предлажу се додатне студије које би укључиле испитивање дугорочне стабилности раствора хипохлорита и његовог дејства на друге микроорганизме који могу бити присутни у сировој води.

5. Литература

- [1] Bertelkamp C, *Organic Micropollutant Removal during River Bank Filtration*, Doktorska disertacija, KWR Water Research Institute, Holandija, 2015.
- [2] Далмација Б. и сар. *Пречишћавање и дезинфекција воде*. Природно-математички факултет, Нови Сад, 2005.
- [3] Kvalitet vode – Uzimanje uzoraka – Deo 3: Zaštita uzoraka i rukovanje uzorcima vode, SRPS EN ISO 5667-3:2017.
- [4] Kvalitet vode - Uzimanje uzoraka - Deo 2: Smernice za postupke uzimanja uzoraka, SRPS ISO 5667-2:1997.

- [5] APHA - AWWA - WPCF: Standard methods for the examination of water and wastewater, American Public Health Association, Washington, 2012.
- [6] Правилник о хигијенској испарвности воде за пиће, *Службени лист SRJ*, 42/98, 44/99 i 28/2019.
- [7] Van der Kooij D, Van der Wielen P. Microbial Growth in Drinking-Water Supplies: Problems, Causes, *Control, and Research Needs*. IWA Publishing, 2014.

САНАЦИЈА ФИЛТЕРСКИХ ПОЉА–МЕТОДОЛОГИЈА И ПРОБЛЕМАТИКА ЗАМЕНЕ ФИЛТЕРСКЕ ИСПУНЕ

REHABILITATION OF THE FILTERS – METHODOLOGY AND DIFFICULTIES OF FILTER MEDIA REPLACEMENT

ТАТЈАНА СИМЧИН¹
МИЛИЦА КОЛАРСКИ²

Стручни рад
DOI: 10.5937/VIK24197S

Резиме: Санација филтерских поља која се редовно изводи на брзим-пешчаним филтерима на Постројењу за прераду воде „Штранд“ у Новом Саду, подразумева поступак замене филтерске испуне у циљу одржавања квалитета филтрације. Замена испуне обухвата поступке: вађења, прања, сушења и сејања старог филтерског песка, набавку новог кварцног песка, контролу гранулометрије, контролу рада филтера и контролу стања зидова, дуплог дна и дизни филтера, прање филтера и на крају уградњу нове испуне. У раду је описана методологија рада при извођењу. Наведени су услови, дефинисан тачан начин рада и редослед радњи, као и неки проблеми на које се наилазило током извођења и начин на који су решавани и превазилажени. Приказани су резултати одређивања гранулометрије кварцног песка и квалитета воде пре и после санације.

Кључне речи: одржавање система, брзи-пешчани филтери, кварцни песак, гранулометрија испуне, квалитет воде

Abstract: The rehabilitation of the filters, which is regularly performed on the rapid-sand filters at the Štrand water treatment plant in Novi Sad, involves the replacement of the filter media in order to maintain the quality of the filtration. Replacement of media includes procedures: taking out, washing, drying and sowing of old filler sand, procurement of new quartz sand, granulometry control, filter operation control and condition control of the walls, double bottom and nozzle filter, filter washing and finally installation of new filling. The rehabilitation methodology is described in the performance. The conditions are specified, the exact way of working and the sequence of actions are defined, as well as some problems that were encountered during the execution and the way in which they were solved and overcome.

¹ Татјана Симчин, ЈКП „Водовод и канализација“ Нови Сад, Масарикова 17, Нови Сад, tanja.simcin@vikns.rs ORCID: 0009-0006-2195-186X

² Милица Коларски, ЈКП „Водовод и канализација“ Нови Сад, Масарикова 17, Нови Сад, milica.kolarski@vikns.rs, ORCID: 0009-0009-9435-2149

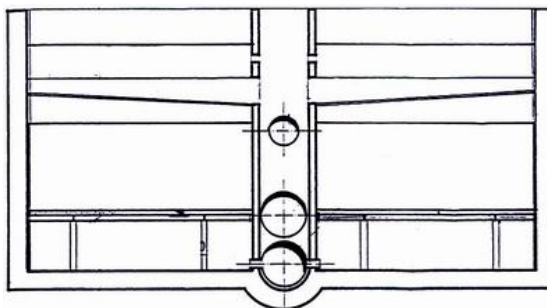
The results of determining the granulometry of quartz sand and water quality before and after rehabilitation are presented.

Key Words: system maintenance, rapid-sand filters, quartz sand, granulometry of media, water quality

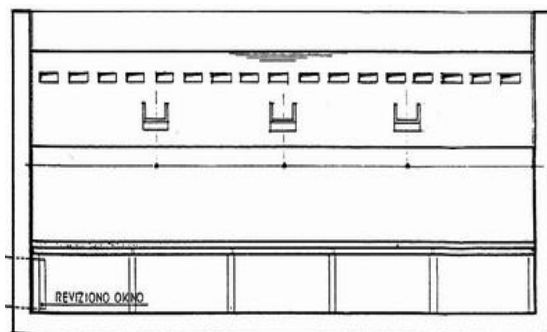
1. Увод

На Постројењу за прераду воде „Шtrand“ у Новом Саду у функцији су две филтер станице са пешчаном испуном идентичне по конструкцији и капацитету 750 l/s. Предвиђена је максимална брзина филтрирања по једном филтерском пољу 6,25 m³/m²/h, односно проток од 62,5 l/s.

Стара филтер станица је изграђена 1964. године, а Нова филтер станица 1981. године. Обе су реконструисане 1995. године. Сваку филтер станицу чини по 12 (отворених) брзих пешчаних филтера површине 36 m². Сваки филтер је уздуж преграђен каналом за довод (одвод) воде који дели филтер на два једнака поља величине 2,7 x 6,6 m.



Слика 1а) попречни пресек филтера
Figure 1a) cross section of the filter



Слика 1б) уздужни пресек филтера
Figure 1b) longitudinal section of the filter

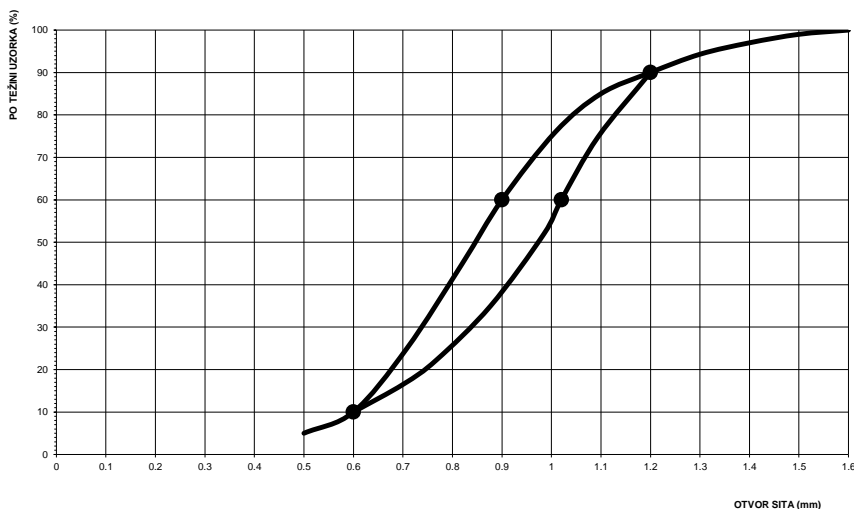
Носећу конструкцију филтера чини дупло дно у које је уграђено је 59 дизни по m^2 филтерског поља. На бетонску плочу дуплог дна постављена је филтерска испуна висине 1,15 m, која се састоји из два слоја. Први - носећи слој чини шљунак висине 0,15 m и то 0,10 m пречника зрна 4 – 8 mm и 0,05 m пречника зрна 2-4 mm. Намена носећег слоја је да штити дизне на дуплом дну од зачепљења и да омогући равномернију дифузију ваздуха и воде при прању пешчане испуне. Други слој чини кварцни песак- висине 1 m. Слој воде изнад горње површине песка је око 1 m. Прање филтера врши се на сваких 48 h, обрнутим током.

Поред наведеног распона гранулације мора се обезбедити одговарајућа структура заступљености честица. Коefицијент равномерности тј. униформности зрна се добија по обрасцу:

$K_n = d_{60} / d_{10}$ - однос пречника отвора сита кроз који може да прође 60% од укупне тежине песка - d_{60} и ефективног пречника - d_{10}

Где је: d_{10} = Ефективни пречник (10%-на крупноћа) - 10 % од укупне тежине песка може да прође кроз сито са отворима рупица од 0,6 mm у пречнику.

Гранулометријска крива треба да буде интерполирана између граничних кривих задатих са $d^{60} / d^{10} = 1,5 - 1,7$ mm према дијаграму. Такође, садржај честица пречника већег од 1,2 mm несме да буде већи од 10%, а садржај честица пречника мањег од 0,5 mm несме да буде већи од 5%.



Слика 2. Гранулометријска крива
Figure 2. Granulometric curve

2. Ефикасност филтрације и потреба за санацијом

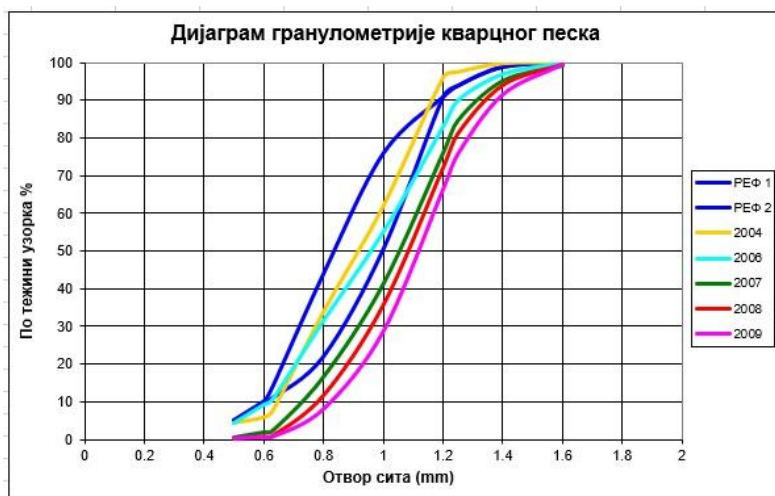
На Постројењу за прераду воде „Шtrand“ третира се подземна вода са три изворишта: „Патроварадинска ада“, „Ратно острво“ и „Шtrand“.

Подземне воде са сва три изворишта су сличних карактеристика. Имају низак садржај кисеоника са повишеним садржајем амонијака, гвожђа и мангана.

Филтрацијом на пешчаним филтерима се постиже следеће:

- задржавање хидроксида гвожђа;
- каталитичка оксидација Mn и задржавање формираних оксида мангана М;
- биооксидација амонијум јона и нитрита;
- задржавање мањег дела органских материја;
- задржавање дела микроорганизама и биолошких индикатора.

Током филтрације амонијак се уклања у потпуности, а ефикасност уклањања гвожђа и мангана је преко 90%. Квалитет рада филтера прати се у континуитету а једном годишње узимањем узорка испуне из сваког филтера проверава се и гранулација испуне, како би се утврдило да ли је дошло до тзв. „гојења“ испуне. Потреба за санацијом целокупне филтерске испуне јавља се након вишегодишње употребе (више од 5 година) јер временом адсорбовани талог на зрну испуне утиче на одступање гранулометријске криве од пројектом дефинисаних услова.



Слика 3. Приказ „гојења“ испуне на једном филтеру током 5 година
Figure 3. Representation of the „fattening“ of the filling on one filter over 5 years

Санација подразумева вађење старог песка, његово прање и просејавање; прање и преглед филтерских поља; преглед исправности и замена дизни и хидрауличку пробу филтера водом и ваздухом ради провере режима рада.

У санирана филтерска поља уграђује се нови кварцни песок и једним делом већ коришћени кварцни песок (стари песок који је прошао одговарајући третман односно који је опран, осушен и просејан). Учешће старог филтерског песка је максимално 40-50%. На овај начин убрзава се иначе спор процес „манганизовања“ новог песка односно формирања слоја манган IV оксида око зрна песка који је неопходан за потпуну каталитичку реакцију оксидације двовалентног мангана у његов нерастворни облик. У случају да се прањем, сушењем и просејавањем не добије планирана количина уграђује се мањи проценат старог песка, али се у том случају продужава време сазревања филтерске испуне и рад са смањеним капацитетом односно мањим брзинама филтрације.

3. Општи услови санације

Динамика извођења радова санације филтерских поља условљена је несметаним режимом рада прераде и дистрибуције воде и снабдевање корисника. Радове није могуће изводити на више филтера истовремено Објекат филтер станице где се изводе сви радови је у Зони строгог режима санитарне заштите. Неопходно је да се обезбеди висок ниво чистоће градилишта и захтева се посебна процедура понашања радника. Пре почетка радова потребно је адекватно заштитити филтерска поља која нису у санацији пластичном фолијом.

4. Технички услови за материјале

Кварцни песок треба да буде: природни облутак чији је садржај SiO_2 - мин. 98%, специфична тежина -мин. $2,5 \text{ g/cm}^3$, насипна тежина - 1500 kg/m^3 , влага - мах. 1%, растворљивост у хлороводоничној киселини по стандардној методологији након 24 h - испод 5%

Кварцни песок и његова крупноћа су условљени са два супротна захтева: ситнија зрна су потребна да задрже сав муљ са штетним оксидима и примесима док нешто већа зрна треба да омогуће бржи проток воде која се филтрира ради постизања већег протока а тиме и већег капацитета, па су потребне димензије зрна: 0,6 - 1,2 mm. Намена носећег слоја од шљунка је да штити дизне дуплог дна од зачепљења и да омогући бољу дифузију ваздуха и воде при прању испуне. Испоручени материјал мора имати следеће особине: чист, тежак материјал, отпоран на дејство воде у области рН =6,5 - 8,5, отпоран на хабање, већином сферног облика. Потребна гранулација зрна шљунка и дебљина носећег слоја.

5. Извођење санације

Стари кварцни песак износи се из филтерског поља мануелно пребацивањем песка лопатама у колица, а затим се помоћу дизалице колица износи ван филтерског поља.

Извађени стари кварцни песак се у аутомешалици, уз сталан доток чисте воде меша и испира 6 до 8 сати. Критеријум за престанак рада мешалице је истицање избистрене воде из мешалице. Овако опрани песак изручује се по поду платформе који је прекривен пластичном фолијом.

Платформа са надстрешницом за сушење старог песка је одговарајућих димензија, монтажног типа и привременог карактера. Унутар овако конструисане платформе монтирају се калорифери-тајфуни за сушење песка.

Сушење песка се обавља на два начина. Први је природно сушење на платформи где се оцеђени материјал разастире у слоју од 5 cm и природно суши. За случај да метеоролошке прилике не дозволе природно сушење, предвиђена је затворена платформа са надстрешницом где ће се опрани песак сушити помоћу калорифера - тајфуна.

Просејавање осушеног старог песка врши се на вибрационим ситима, отвора сита 1,25 mm. Просејани песак гранулације мање од 1,25 mm. одваја се на једну страну, док се песак крупније гранулације сматра неупотребљивим, одбацује и одвози на градску депонију. Употребљиви песак се равномерно меша са новим песком у односу који ће се одредити након добијања укупне количине старог употребљивог песка.

Пре уградње филтерске испуне и носећег слоја врши се темељно прање зидова и дна филтерског поља водом под притиском и хлороводоничном киселином. Након прања врши се контрола стања дизни. Све запушене, оштећене или напукле дизне мењају се новим. Провера постојања евентуалног механичког оштећења на плочи или дизнама врши се хидро-тестом. Хидро-тест се изводи продувавањем ваздуха кроз дизне изнад којих је надслој воде од око 5 cm.

Ако су све дизне исправне и дупло дно добро дихтује, на воденој површини ће се појавити равномерно распоређени мехурићи без привилегованих млазева у облику гејзира. У супротном, констатоваће се места која је потребно санирати. По завршетку свих радова а пре пуштања филтера у рад потребно је дезинфиковати празан филтер.

Први најкрупнији слој шљунка поставља се пажљиво ручно водећи рачуна да се не оштете дизне. Овај слој се поставља до приближне тачне висине за тај слој. Затим се филтер напуни водом до означене висине за тај слој и на тај начин се преконтролише висина и хоризонталност те површине.

Поступак се наставља и за остале слојеве. По постављању носећег слоја испуна се испере водом до избистрења.

Филтерски песак треба насипати преко површине постављеног слоја шљунка, пажљиво у слојевима од по 20-30 cm. Растресање ваздухом и испирање водом врши се након уноса сваког слоја. Завршно прање изводи се са водом све док мутноћа воде од прања филтера не падне на вредност мању од пет нефелометриских јединица мутноће (5 NTU). Висина филтерског засипа износи 100+5 cm.

Према постојећој геометрији филтерских поља и положаја постојећих преливних корита, горња ивица филтерске испуне мора бити удаљена минимум 50 cm од горње ивице преливних корита. Овај услов диктира експандирана висина филтерске испуне приликом прања филтера пројектованом технологијом ваздух+вода. Пре пуштања санираног поља у рад, потребно је извршити дезинфекцију филтерске испуне и читавог филтерског поља са раствором натријумхипо-хлорита.

6. Проблематика и резултати

За проблеме на које се кроз године извођења ових радова наилазило проналажена су нова решења или боље варијанте.

- При испирању испуне у ауто-мешалици одвод воде првобитно је испуштан на травњак локалитета, али се убрзо схватило да је неопходно осмислити и направити прихватни резервоар из ког се задрљана вода са талогом прелива у канализацију уз разблажење.
- Платформа за сушење накнадно је постављена са благим нагибом како би се обезбедило додатно оцеђивање воде из опраног песка.
- Просејавање осушене испуне првобитно је замишљено кроз отвор сита 1,25 mm али је утврђено да се велик део испуне одбацује иако је задовољавајуће гранулације јер не пролази кроз ову величину отвора. Бољи ефекат постигнут је коришћењем сита са промером отвора 1,4 mm.
- Природно сушење на фолијама које се разастру на отвореном, показало се као веома ефикасан и брз метод сушења. Али уколико временске прилике не подразумевају сунчано време, ако је зимски период и температуре су ниске морало се увести принудно сушење.
- При првом пуштању воде за прање кроз сув песак, треба воду веома лагано пустити, да би се оставило доста времена за издвајање ваздуха из његових пора. Ако би се тај ваздух задржао у порама, стварали би се велики клобуци, који су у стању да цепају слојеве шљунка и песка и да изазивају стварање кратера.

- При прању филтерских поља, регистровано је повремено изношење филтерске испуне током прања истих преко преливних корита поготово ситнијих фракција, зато увек планирати набавку додатне, нешто веће количине кварцног песка и постављање слоја у висини већој за 5 cm.
- До постизања потпуне ефикасност филтрације након санације, филтер је потребно оптеретити са само 50% од пројектованог капацитета тј. брзину филтрације потребно је смањити за 50%.

По пуштању у рад време потребно да се на филтеру након санације успоставе хемизми који обезбеђују ефикасност филтрације је око 120-180 дана.

7. Литература

- [1] Главни пројекат - санација филтерских поља, ProIng 2009.

ULOGA SAVREMENIH UPRAVLJAČKIH SISTEMA I SENZORA U UPRAVLJANJU GUBICIMA VODE

THE ROLE OF MODERN CONTROL SYSTEMS AND SENSORS IN WATER LOSS MANAGEMENT

STANKO STANKOV¹

Pregledni stručni rad
DOI: 10.5937/VIK24205S

Rezime: U savremenim gradovima sve više se primenjuju inteligentna rešenja za praćenje vodosnabdevanja i garantovanje potrebnih količina vode za građane i privredu. Jedan od glavnih ciljeva inteligentnog upravljanja vodnim resursima je minimiziranje gubitaka od curenja, upotrebom savremenih elektronskih uređaja, čime se povećava efikasnost korišćenja vode za piće. U radu se razmatra upravljanje i praćenje skrivenih curenja na osnovu odgovarajućih senzora, metode i savremena oprema za otkrivanje tih curenja. Pametna vodovodna mreža nije samo samostalan sistem koji optimizuje efikasnost, već je i sredstvo za povezivanje mnogih sistema i deljenje podataka preko platformi. Nove tehnologije produžavaju životni vek i povećavaju pouzdanost opreme merenjem, prikupljanjem i analizom podataka iz širokog spektra događaja unutar mreže. Informacione tehnologije u vodosnabdevanju omogućavaju: praćenje u realnom vremenu, automatizaciju i optimizaciju složenih procesa, deljenje i sinhronizaciju baze podataka, izbegavanje neefikasnog dupliranja i nedoslednosti, vizuelizaciju podataka koji dolaze iz različitih sistema, uporedivost podataka i izveštavanje, planiranje procesa. Osim smanjenja gubitaka vode, primena novih tehnologija doprinosi većoj produktivnosti mreže.

Ključne reči: vodosnabdevanje, curenje, gubici, inteligentni sistemi, efikasnost

Abstract: Intelligent solutions for monitoring water supply and guaranteeing the necessary quantities of water for citizens and the economy are increasingly being applied in modern cities. One of the main goals of the intelligent control of water resources is the minimization of leakage losses, using modern electronic devices, which increases the efficiency of drinking water use. The paper discusses the control and supervision of hidden leaks based on appropriate sensors, methods and modern equipment for detecting those leaks. A smart water network is not only a stand-alone system that optimizes efficiency, but also a means of connecting many systems and sharing data across platforms. New technologies extend the life and

¹ Stanko Stankov, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Niš, Aleksandra Medvedeva 12, stanko.stankov@elfak.ni.ac.rs, ORCID: 0009-0002-4264-3111

increase the reliability of equipment by measuring, acquisition and analyzing data from a wide range of events within the network. Information technologies in water supply enable: real-time monitoring, automation and optimization of complex processes, database sharing and synchronization, avoidance of inefficient duplication and inconsistency, visualization of data coming from different systems, data comparability and reporting; process planning. In addition to reducing water losses, the application of new technologies contributes to greater network productivity.

Key Words: water supply, leakage, losses, intelligent systems, efficiency

1. Uvod

Savremeni tehnološki izazovi u sektoru gradskog vodosnabdevanja i kanalizacije zahtevaju integrisane pristupe, uključujući napredne metode prečišćavanja vode, praćenja i upravljanja vodnim resursima, kao i aktivno uključivanje pametnih zgrada i stanovnika gradova u proces. Ove inovacije i tehnologije poboljšavaju kvalitet i efikasnost sistema vodosnabdevanja i kanalizacije, obezbeđujući održivu budućnost urbane sredine [1, 2]. U današnjim uslovima, gradsko vodosnabdevanje i kanalizacija su kritično važne komponente, koje obezbeđuju ne samo komfor i higijenu stanovništva, već i održavanje javnog zdravlja i ispunjavanje ekoloških standarda. Razvoj i održavanje ovih sistema je složen proces koji se suočava s mnogim tehnološkim izazovima, pri čemu se zahtevaju inovativni pristupi i rešenja [3]. Nove tehnologije nude mogućnosti za poboljšanje efikasnosti i pouzdanosti gradskih vodovodnih i kanalizacionih sistema, ali i nameću nove zahteve vezane za upravljanje i adaptaciju. Glavni izazovi su: zastarela infrastruktura, potreba za održivim upravljanjem vodnim resursima, očuvanje kvaliteta vode za piće, integracija pametnih tehnologija upravljanja i monitoringa, kao i finansijska i operativna ograničenja. Globalna dešavanja kao što su urbanizacija, klimatske i demografske promene, dovode do povećanog pritiska na vodne resurse i infrastrukturu, dodatno aktuelizujući pomenute izazove. Zastarela infrastruktura u sektoru gradskog vodosnabdevanja i kanalizacije je složen problem koji utiče na mnoge aspekte upravljanja. Mnogi od postojećih vodovodnih i kanalizacionih sistema projektovani su i izgrađeni u periodu posle Drugog svetskog rata i od tada su podvrgnuti ograničenom renoviranju i modernizaciji. To dovodi do povećanja učestalosti havarija, gubitaka vode usled curenja, smanjene efikasnosti postrojenja za prečišćavanje i u krajnjoj liniji do povećanog rizika od zagađivanja vodnih resursa i životne sredine. Vremenom su materijali od kojih su izgrađeni cevovodi i druge komponente sistema podložni habanju i koroziji, što smanjuje njihovu pouzdanost i povećava verovatnoću kvarova. Mnogi sistemi projektovani za potrebe naselja i industrije u ranijem periodu danas su nedovoljnog kapaciteta. Rast i urbanizacija dovode do preopterećenja postojeće infrastrukture. Istovremeno, curenja u staroj infrastrukturi uzrok su značajnih gubitaka vode, koji ne samo da povećavaju operativne troškove već i

smanjuju efikasnost čitavog sistema. Rešavanje svih ovih problema zahteva integrisani pristup koji uključuje i tehnološke inovacije i strateško planiranje. Implementacija pametnih senzora i sistema za praćenje može pomoći u identifikaciji curenja i havarija u realnom vremenu, omogućavajući bržu i efikasniju intervenciju [3, 4]. Daljinsko upravljanje i automatizacija takođe nude mogućnosti za optimizaciju rada i smanjenje gubitaka vode. S druge strane, uspostavljanje dugoročnih programa obnavljanja i zamene stare infrastrukture ključno je za poboljšanje pouzdanosti i održivosti sistema vodosnabdevanja i kanalizacije. Informisanje i angažovanje javnosti o značaju ulaganja u vodnu infrastrukturu takođe može podržati napore da se obezbede neophodna finansijska sredstva i podrška reformama. Upravljanje vodnim resursima je još jedan ključan aspekt, budući da nestašica vode postaje sve hitnije pitanje za mnoge regione sveta.

Tehnologije za efikasno korišćenje i reciklažu vode, kao i inovacije u ovoj oblasti, nude rešenja za ovaj problem, ali zahtevaju i značajna sredstva i prilagođavanje lokalnim uslovima. Savremeno upravljanje vodnim resursima iziskuje kompleksan i integrisan pristup, posebno u kontekstu sve veće globalne potražnje za vodom, klimatskih promena i urbanizacije. U tom pogledu, tehnološke inovacije i digitalne mogućnosti igraju ključnu ulogu u optimizaciji korišćenja, praćenja i upravljanja vodnim resursima [5]. Digitalni blizanci, IoT (Internet of thing) tehnologije, automatizacija, akvizicija i analiza podataka nude nove mogućnosti za povećanje efikasnosti i održivosti sistema vodosnabdevanja. Digitalni blizanci kao virtuelne replike fizičkih sistema omogućavaju simulaciju, analizu i optimizaciju njihovog rada u realnom vremenu. Pomoću njih se mogu modelirati vodovodne mreže, postrojenja za prečišćavanje i druge ključne komponente, pružajući korisne informacije o potencijalnim poboljšanjima efikasnosti i smanjenju rizika od havarija. Kroz kontinualno praćenje i analizu, digitalni blizanci pomažu u predviđanju ponašanja sistema u različitim uslovima, olakšavajući upravljanje i održavanje.

IoT tehnologije transformišu upravljanje vodnim resursima omogućavajući kontinuiranu akviziciju i analizu podataka sa više senzora koji se nalaze u vodovodnoj mreži, postrojenjima za prečišćavanje i drugim kritičnim tačkama. Ovo pruža detaljan pregled statusa sistema u realnom vremenu, uključujući detekciju curenja, praćenje kvaliteta vode i optimizaciju rada pumpi i druge opreme. Integracija IoT-a sa automatskim upravljanjem olakšava implementaciju efikasnih strategija za raspodelu vodnih resursa, smanjenje gubitaka vode i poboljšanje ukupne operativne efikasnosti. Automatizacija, podržana naprednom analizom podataka, omogućava vodovodnim preduzećima da optimizuju svoje odluke na osnovu duboke analize i predviđanja. Algoritmi mašinskog učenja i veštačka inteligencija mogu da analiziraju ogromne količine podataka koji se odnose na trendove, anomalije i potencijalne opasnosti, nudeći predloge za efikasno upravljanje. Tu spada auto-

matska regulacija protoka vode u zavisnosti od potražnje, predviđanje potreba za održavanjem i optimizacija procesa prečišćavanja [1, 5, 6].

2. Kvalitet vode za piće

Kvalitet vode za piće je od suštinskog značaja za javno zdravlje. Problemi kao što su zagađenje iz industrijskih i poljoprivrednih izvora zahtevaju razvoj i primenu naprednih metoda tretmana i monitoringa kako bi se osigurala bezbednost i kvalitet vode. Napredne metode tretmana i praćenja nude mogućnosti za istraživanje inovativnih pristupa i tehnologija koje su ključne za održavanje visokog kvaliteta vode za piće i zaštitu javnog zdravlja. Ove metode uključuju fizičke i hemijske procese kao i biološke tehnologije, a potpomognute su napretkom senzorske tehnologije i podacima u realnom vremenu za praćenje kvaliteta vode. Metode prečišćavanja vode za piće su skupa rešenja i njihova primena je opravdana u prisustvu određenih zagađivača [4, 5, 6]. Stoga je dostupnost adekvatnih informacija o potencijalnim zagađivačima od ključnog značaja za efikasan rad sistema za prečišćavanje vode za piće. S tim u vezi savremeni senzori omogućavaju kontinualno praćenje kvaliteta vode merenjem hemijskih, fizičkih i bioloških parametara u realnom vremenu. Senzori mogu otkriti različite zagađivače, kao što su teški metali, organska jedinjenja i mikroorganizmi, omogućavajući brzu reakciju kada se otkriju problemi. Integracija IoT uređaja i cloud tehnologija u sisteme za monitoring vode omogućava daljinsko praćenje i analizu podataka sa više lokacija, što doprinosi efikasnom upravljanju resursima i sprečavanju zagađenja vode [4, 5]. Veštačka inteligencija i mašinsko učenje nude mogućnosti za analizu velikih podataka o monitoringu vode, identifikaciju modela i predviđanje potencijalnih rizika za kvalitet vode. Ove tehnologije mogu poboljšati tačnost monitoringa i efikasnost rešenja za upravljanje kvalitetom vode. Napredne metode prečišćavanja i praćenja su od suštinskog značaja za osiguranje bezbednosti i kvaliteta vode za piće. Tehnološke inovacije nude nove mogućnosti za rešavanje današnjih izazova vodosnabdevanja i omogućavanje pristupa čistoj i bezbednoj vodi za stanovništvo na globalnom nivou [5, 6].

3. Uticaj pametnih zgrada

Nastankom pametnih zgrada stvaraju se i preduslovi za optimizaciju i povećanje kvaliteta sistema vodosnabdevanja i kanalizacije u urbanim sredinama. Pametne zgrade koriste napredne sisteme upravljanja vodom koji uključuju senzore i automatizovanu kontrolu potrošnje. Ovi sistemi mogu da identifikuju i spreče curenja, regulišu potrošnju u realnom vremenu i usmeravaju upotrebu reciklirane vode npr. u toaletima, za zalivanje zelenih površina i dr. Time se smanjuje ukupna potrošnja vode u gradu i povećava efikasnost gradskih vodovodnih sistema. Pametne

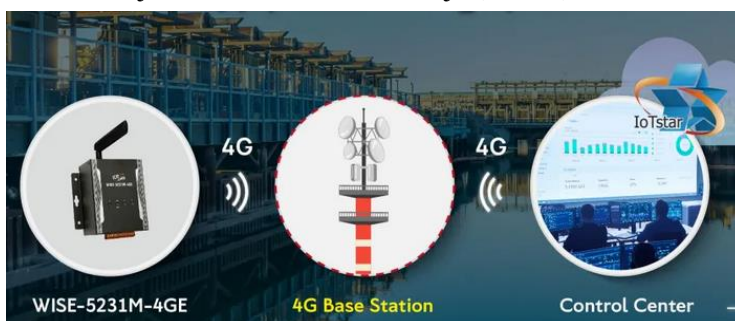
zgrade mogu smanjiti svoju zavisnost od centralnih vodovodnih sistema integracijom tehnologija za sakupljanje i recikliranje kišnice, što smanjuje pritisak na gradske vodovodne i kanalizacione mreže, posebno tokom suše ili visoke potrošnje, i omogućava održivo upravljanje urbanim vodnim resursima. Pametne zgrade takođe mogu uključiti sisteme za predtretman vode čime se poboljšava kvalitet vode čak i pre nego što se koristi u zgradi. Ovo ne samo da obezbeđuje veći kvalitet života stanovnika, već i smanjuje opterećenje gradskih postrojenja za prečišćavanje, jer su otpadne vode koje se vraćaju u sistem manje zagađene. Sistemi u pametnim zgradama mogu se integrisati u širu mrežu pametnih gradskih sistema, razmenjujući podatke i informacije o potrošnji i kvalitetu vode, a time se omogućava gradskim upravnim organima da dobiju korisne informacije za planiranje resursa i reagovanje u vanrednim situacijama u realnom vremenu, što dovodi do efikasnijeg i održivijeg upravljanja gradskim sistemima vodosnabdevanja i kanalizacije. Optimizacijom potrošnje vode, smanjenjem pritiska na infrastrukturu, poboljšanjem kvaliteta vode i integracijom sa sistemima pametnih gradova, pametne zgrade doprinose održivom razvoju i poboljšanju života u urbanim sredinama. Stanovnici gradova imaju veoma značajnu ulogu u održivom upravljanju vodnim resursima, jer njihove svakodnevne navike, svest i angažovanje mogu imati veliki uticaj na potrošnju i kvalitet vode. Učešće građana u programima očuvanja vode, reciklaže i upravljanja otpadnim vodama je od značaja za smanjenje pritiska na gradske vodovodne sisteme. Svest korisnika o uticaju njihovog delovanja na vodne resurse i podrška investicijama u pametne tehnologije i održive prakse mogu pomoći u poboljšanju kvaliteta sistema vodosnabdevanja i kanalizacije. Savremeni gradovi sve više pribegavaju inteligentnim rešenjima za praćenje vodosnabdevanja i distribucije vode kako bi se obezbedilo da građani i industrijska preduzeća imaju pristup potrebnim količinama vode. Ciljevi inteligentnog upravljanja vodnim resursima su dvostruki: minimiziranje gubitaka i rasipanja zbog curenja, kao i racionalno upravljanje potrošnjom. Iako se različite strategije i programi za smanjenje gubitaka vode i upravljanja vodosnabdijevanjem sprovode na mnogim mestima širom sveta, gubici zbog neefikasne distribucije i curenja i dalje predstavljaju ozbiljan problem u sektoru voda. Evropska agencija za životnu sredinu predviđa da će do 2030. godine globalne potrebe za vodom porasti za čak 40 odsto. Savremene smart tehnologije i mobilne aplikacije pružaju moćne alate za uključivanje stanovnika gradova u procese upravljanja vodama, promovisanje održivih navika, podizanje svesti i poboljšanje ukupne efikasnosti gradskih vodovodnih sistema. Mobilne aplikacije omogućavaju korisnicima da prate svoju potrošnju vode u realnom vremenu pružajući korisne informacije koje mogu pomoći u identifikaciji nepotrebne potrošnje ili curenja. Pomenute aplikacije mogu da šalju alarmne poruke kada je potrošnja izuzetno visoka, podstičući brzu reakciju i sprečavajući gubitak vode. Takođe, aplikacije i platforme koje šalju obaveštenja o hitnim slučajevima ili planiranim isključenjima

vode pomažu stanovnicima da se efikasnije pripreme i upravljaju svojim resursima [2]. Na slici 1 prikazan je sistem upravljanja vodama [7].



Slika 1. Tehnologija sistema upravljanja vodama
Figure 1. Water management system technology

Ilustracije radi, dat je primer savremenog upravljanja vodnim resursima u gradu Indore u Indiji. Primenom računarstva na ivici, inteligentnih kontrolera ICP DAS serije i IoTstar i IIoT softvera za upravljanje oblačnom infrastrukturom, podaci o sistemima vodosnabdevanja koji se nalaze u pomenutom gradu mogu se bežično preneti u realnom vremenu do centralnog sistema nadzora i upravljanja preko 4G mreže, omogućavajući daljinsko upravljanje i nadzor vodosnabdevanja po celom gradu [8]. Status sistema vodosnabdevanja može se pratiti u bilo kom trenutku preko operatorskih panela, a dobijene informacije se mogu koristiti kao referenca za preventivno održavanje sistema vodosnabdevanja (slika 2).



Slika 2. Ilustracija nadzora i upravljanja sistemom vodosnabdevanja grada Indore u Indiji
Figure 2. Illustration of supervision and control of the water supply system of the Indore city, India

4. Upravljanje gubicima vode

Veliki gubici vode u sistemu vodosnabdevanja značajan su problem za vodovodna preduzeća u našoj zemlji, koja nije tako bogata vodnim resursima. Glavni razlog za velike gubitke najčešće je zastarela vodovodna mreža i brojne havarije. Međutim, zamena vodovodne mreže zahteva značajna finansijska sredstva, koja bi vodovodna preduzeća teško mogla sama da obezbede. Da bi se prevazišao problem velikih gubitaka vode, pored zamene zastarele cevovodne mreže i izvođenja neophodnih remontnih radova, potrebno je preduzeti i druge mere vezane za upravljanje curenjima u sistemu. Performanse i profitabilnost sistema vodenog transporta u velikoj meri zavise od toga da se voda transportuje sa što manjim gubicima. Curenje u cevovodima ne znači samo gubitak vode za piće koja je prečišćena uz visoke troškove, već i potencijalni ekonomski gubitak uzrokovan mogućim posledičnim oštećenjima, posebno usled podrivanja zgrada. Zato je cilj otkrivanje i lociranje curenja u transportnim cevovodima. Curenje može prouzrokovati ozbiljne finansijske gubitke sistemu vodosnabdevanja. Npr. proboj od 5 mm pri pritisku od 5 bar generiše godišnje gubitke od oko 12000 m³. Uz prosečnu potrošnju od 160 litara dnevno, ova količina je dovoljna da obezbedi godišnju potrebu pijaće vode za oko 200 ljudi. Tipično, aktivnosti upravljanja curenjem su povezane sa upravljanjem pritiskom i pronalaženjem lokacija curenja. Jedan od načina koji se koristi za procenu količine vode izgubljene kroz mrežu je merenje minimalnog noćnog protoka. U ovom slučaju, meri se količina vode koja se po satu isporučuje u mrežu u periodu kada postoji najmanja potražnja, obično između 1 i 4 sata noću. Shodno tome, u delovima mreže gde su curenja dobro kontrolisana, vrednost izmerenog minimalnog noćnog protoka ne bi bila mnogo iznad nule. Što je veći minimalni noćni protok, veća su curenja u sistemu.

4.1. Lokalizacija i detekcija curenja

Budući da preliminarna analiza pruža pregled curenja u mreži u celini, najefikasniji pristup sa ekonomskog aspekta je da se identifikuje i locira 20% najvećih curenja, pošto u principu ona čine 80% gubitaka. Uobičajena strategija je određivanje zona u sistemu vodosnabdevanja, što omogućava da se najozbiljnija curenja izoluju na određeno područje, koja se zatim mogu preciznije proceniti korišćenjem odgovarajuće opreme za detekciju curenja. Strateški instalirani merači protoka dele mrežu na specifične sektore ili zone koje se mogu nezavisno analizirati. Oprema za otkrivanje curenja uključuje osnovne i relativno jednostavne tehnologije kao i one sofisticiranije. Jedan od najjednostavnijih uređaja je zvučni detektor (mikrofon). U praksi se radi o mikrofону koji se postavlja na tlo. Mikrofon pojačava nastali šum kada voda pod pritiskom izlazi iz oštećene cevi. Pronalaženje lokacije sa najglasnijim šumom ukazuje gde je najverovatnije curenje. Prednost digitalnih mikrofona je u tome što razlikuju stvarni šum curenja od okolnih šumova. Postoje

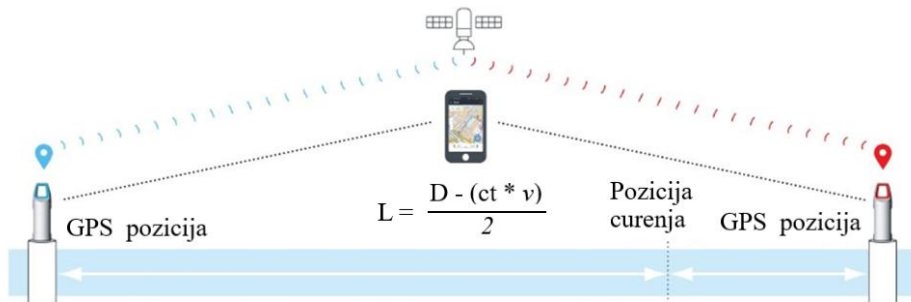
eletronski zvučni detektori za snimanje i pojačavanje zvučnih oscilacija svih vrsta koje nastaju u samoj strukturi koja se ispituje. Takav detektor je Stethophon 04. Oscilatorni senzor omogućava reprodukciju zvuka bez distorzije čak i kad je šum jedva čujan. Mikrofon za tlo se može povezati s detektorom Stethophon 04 radi slušanja zvukova ispod zemlje. Funkcija filtriranja omogućava korisnicima da zvuk slušaju na frekvenciji koja najbolje odgovara njihovom sluhu i šumu koji se upravo sluša. Filtri olakšavaju da se čuju određeni šumovi kao što su duboki zvuci karakteristični za curenje iz plastičnih cevi i više frekvencije iz metalnih cevi. Funkcija zaštite sluha operatera automatski obezbeđuje da se slušalice isključe kada se iznenada pojave jaki šumovi. Radi olakšavanja postupka lociranja curenja, na digitalnom displeju se ne prikazuje samo tekući najniži šum, već i najniži izmereni šum od prethodne lokacije, tako da operater može da vidi da li se približava ili udaljava od izvora zvuka [9]. Pored toga, za merenje tačne digitalne vrednosti u realnom vremenu, nivo šuma se predstavlja grafički.

Snimanjem nivoa šuma za nekoliko lokacija, može se odrediti mesto curenja s velikom preciznošću. Postoje komplikovaniji uređaji - korelatori šuma. U principu, korelacija je otkrivanje curenja na osnovu računarskog procesa za podzemne cevovode s protokom. Šum izazvan curenjem širi se duž cevi i stiže do dva fittinga (ventila, hidranata, protivpožarnih hidranata itd) u različito vreme u zavisnosti od udaljenosti od mesta curenja do kontaktnih tačaka. Koriste se visokoosetljivi senzori koji detektuju rezultujući šum od fittinga, a radio predajnik ih prosleđuje prijemniku (korelatoru) koji određuje lokaciju curenja izračunavanjem vremenske razlike na osnovu različitog rastojanja između kontaktnih tačaka i curenja. Da bi se preciznije odredila lokaciju curenja, potrebno je uzeti u obzir materijal, prečnik i dužinu merenog dela cevovoda. Uz upotrebu korelatora, curenje se može locirati s preciznošću do nekoliko santimetara. Intenzitet pozadinskog šuma nema uticaja na rezultate merenja.

4.2. Funkcija korelacije

Konvencionalni korelatori zahtevaju da visokokvalifikovani operater pretrage ubaci tražene podatke u softver, uključujući materijal, prečnik i tačnu dužinu svakog segmenta cevi između senzora. Kvalitet rezultata uveliko zavisi od sposobnosti operatera da dobije čist korelacioni vrh koristeći ručno podešavanje opsega filtra. Odluku o tome da li postoji curenje ili ne je na samom operateru i u brojnim slučajevima je ovde reč o umetnosti, a ne nauci. Ukoliko je korelacija bila neuspešna, korisnik nema načina da reprodukuje rezultate kasnije (ili nedostatak istih), a nikako ne može da ih stavi u kontekst sa celom okolinom; rezultati su u suštini pojedinačni i nezavisni. Postoje i savremeni inteligentni lokatori curenja poput EASYSCAN sistema. On otklanja potrebu za ručnim merenjem rastojanja: operater automatski dobija GPS poziciju dva senzora koji mogu ručno da se podešavaju preko ulične

mape samog uređaja (slika 3). Bilo koja otkrivena curenja će se automatski prikazivati na preciznoj geolokaciji na uličnoj mapi. EASYSCAN sadrži „auto filter“ koji je razvijen za visokokvalitetne korelatore Gutermann proizvoda. Čim se senzori programiraju i postave, rezultat korelacije se pojavljuje automatski, pri čemu ne postoji dvosmislenost rezultata. Na kraju merenja EASYSCAN zaključuje da li postoji ili ne postoji curenje. Ukoliko postoji operater uključuje funkciju slušanja pritiskom na dugme i može da preslušava šum curenja na naznačenoj poziciji. Sva merenja, bilo da postoji ili ne postoji curenje, mogu biti snimljena u memoriji uređaja s mogućnošću kasnijeg pregledavanja [10].



Slika 3. Ilustracija određivanja lokacije curenjaa pomoću EASYSCAN sistema
Figure 3. Determining the location of the leakage with the help of the EASISCAN system

Nakon tačnog određivanja lokacije curenja uz pomoć funkcije korelacije, akustično slušanje se koristi da bi se potvrdila tačna lokacija iznad površine zemlje. Koristeći GPS koordinate, EASYSCAN aplikacija vodi operatera do očekivane lokacije curenja. Precizna lokacija se može videti na uličnoj mapi. Sve informacije koje sadrže snimke zvukova se mogu sačuvati na mapi, i mogu se kasnije pregledati i ponovo preslušati. Tačna pozicija se locira uz pomoć GPS-a i prikazuje na uličnoj mapi aplikacije. Ukoliko je pronađeno curenje, ono se može snimiti na mapi, zajedno sa originalom zvuka pretrage. EASYSCAN aplikacija ima lako razumljiv i intuitivan interfejs uz pomoć kojeg se može upravljati celokupnim procesom detekcije curenja. Povezana je sa svim sensorima koji su dostupni radio vezom preko EASYSCAN linka tako da nisu potrebni nikakvi dodatni kablovi za povezivanje. Aplikacija kombinuje GPS i podatke sa ulične mape, i time omogućava obiman pregled lokacija i udaljenosti svih mogućih mesta curenja. Merenja koje se snime mogu se sačuvati za kasniji pregled i preslušavanje. Za napredno slušanje tokom rada sa zemnim mikrofonom, postoje opcione slušalice koje se mogu povezati s pametnim telefonom. Softver koristi automatske filtre frenkvencija za postavljanje najboljih parametara, da bi se dobili tačni rezultati. Aplikacija radi na svim Android OS tabletima i pametnim telefonima. Čak i u najvećem drumskom saobraćaju korelacija

se obavlja uspešno. Faktori kao što su dubina cevi, površina, tip tla, različiti vremenski uslovi ne mogu uticati na korelacionu detekciju curenja. Drugi uređaji koji se koriste su akustični logeri. Oni mere intenzitet šuma tokom određenog vremenskog perioda kada se traže najniži nivoi šuma ili mogućih smetnji. Veoma niski nivoi (izmerene vrednosti oko 0) ne ukazuju na curenje. U slučaju curenja, šum je konstantan i u idealnom slučaju to je jedini šum, koji se meri. Logeri se obično postavljaju na površinsku opremu kao što su protivpožarni hidranti i mogu se trajno instalirati ili koristiti po potrebi u kratkim periodima od oko dva dana.

4.3. Upravljanje pritiskom

Pogodna metoda za smanjenje gubitaka vode zbog curenja je upravljanje pritiskom u vodovodnoj mreži. Poznata je činjenica da postoji direktna veza između pritiska i gubitaka vode. Smanjenje pritiska vode u mreži smanjuje količinu vode koja izlazi kroz bilo koji postojeći otvor ili curenje u cevi. Mere za održavanje pritiska u optimalnim granicama pri maloj potrošnji smatraju se veoma efikasnim i brzo su isplativi, jer takođe doprinose produženju veka cevi. Ovim se omogućava uravnoteženje pritiska unutar mreže, tako da se može opslužiti veći broj klijenata uz vrlo malo povećanje ulazne vode.

Dobro rešenje je korišćenje automatskih ventila za smanjenje pritiska i priključne opreme tako da se pritisak može fleksibilno podešavati uzimajući u obzir fluktuacije kao što je npr. promena ulaznog pritiska, koji se može dodatno smanjiti noću kada postoji mala potrošnja. U situacijama kada podzemni cevovodi imaju višestruka curenja, upravljanje pritiskom može biti među najisplativijim metodama za smanjenje gubitaka, naravno isključujući velika curenja koja zahtevaju intervenciju. Siemens nudi rešenje koje u kontinuitetu prati vrednost protoka u različitim granama vodovodne mreže, čime se značajno smanjuju vreme otkrivanja curenja, troškovi povezani sa ovim procesom, kao i gubici vode. Siemens-ov sistem za nadzor Siva LeakControl zasnovan je na konceptu rešenja u tri koraka. Tokom prvog koraka preduzimaju se mere za automatsko otkrivanje curenja kontinuiranim merenjem protoka u definisanim delovima mreže.

Metoda se zasniva na kompleksnom sistemu za praćenje koji meri protok pomoću ultrazvučnih merača protoka za neinvazivnu ugradnju - Sitrans FST020. Visoka tačnost i ponovljivost merenja su od primarnog značaja. Merač protoka FST020 omogućava tačno merenje čak i pri malim brzinama. Jednostavni za montažu i demontažu, pretvarači nemaju kontakt s pijaćom vodom i mogu se postaviti u zemlju čak i bez okna. Podaci sa merača protoka se prenose do centralne jedinice, gde se prikupljaju i estimiraju, a u slučaju sumnje na curenje generiše se alarmni signal. U drugom koraku, curenje se locira privremenim postavljanjem dodatnih akustičnih senzora. Poslednji korak je tačno određivanje lokacije curenja pomoću korelatora.

5. Zaključak

Gubici vode imaju socio-ekonomske i ekološke aspekte. Borba protiv nestašice vode i upravljanje vodnim resursima je sve aktuelnija zbog klimatskih promena. Pored ljudskih potreba, voda je potrebna i za održavanje prirodnih ekosistema. Cene vode već izazivaju napetost u nekim regionima, a nestašica vode bi mogla da dovede do pritiska da se povuče više vode iz prirodnih ekosistema, od kojih neki već pate od nestašice. Tehnološke i digitalne inovacije nude značajne mogućnosti za poboljšanje upravljanja vodnim resursima. Implementacija digitalnih blizanaca, IoT tehnologija, automatizacije i analize podataka mogu značajno da unaprede praćenje, analizu i optimizaciju sistema vodosnabdevanja. Ovi pristupi ne samo da povećavaju efikasnost i smanjuju operativne troškove, već i pomažu u održivom upravljanju vodnim resursima u budućnosti, osiguravajući njihovu dostupnost i kvalitet za sadašnje i buduće generacije. Integracija IoT uređaja i cloud tehnologija u sisteme za monitoring vode omogućava daljinsko praćenje i analizu podataka sa više lokacija, što doprinosi efikasnom upravljanju resursima i sprečavanju zagađenja vode. Veštačka inteligencija i mašinsko učenje nude mogućnosti za analizu velikih podataka o monitoringu vode, identifikaciju modela i predviđanje potencijalnih rizika za kvalitet vode.

Napredne metode prečišćavanja i praćenja su od suštinskog značaja za osiguranje bezbednosti i kvaliteta vode za piće. Tehnološke inovacije nude nove mogućnosti za rešavanje današnjih izazova vodosnabdevanja i omogućavanje pristupa čistoj i bezbednoj vodi za stanovništvo na globalnom nivou. Razvijeni su različiti softverski alati pomoću kojih se može utvrdi verovatnoća curenja, kao i mogući izvori međutim, svi oni zahtevaju dostupnost nekih osnovnih podataka o sistemu vodosnabdevanja, kao što su količina isporučene vode, fakturisana i izmerena potrošnja, kao i prosečni radni pritisak. Tipično, takva softverska rešenja nisu namenjena i ne mogu da zamene obavljanje temeljne provere, ali su dobar način za pokretanje programa za upravljanje curenjem, budući da softver koristi unos za izračunavanje različitih tipova stvarnih i prividnih gubitaka kao i pokazatelja efikasnosti. Gubici preduzeća za distribuciju vode mogu se kontrolisati godišnjom revizijom aktivnosti vodosnabdevanja i sprovođenjem programa za identifikaciju i ograničavanje onih koji loše funkcionišu. Takvi programi uključuju upravljanje curenjima, testiranje tačnosti vodomera i preduzimanje mera protiv zloupotrebe vodnih resursa. Komercijalni gubici nastaju zbog netačnosti vodomera potrošača, nedoslednosti u podacima iz sistema naplate ili neovlašćenog korišćenja. Ovi gubici dolaze na štetu komunalnih prihoda i iskrivljuju podatke o obrascima potrošnje potrošača. Gubici su takođe stvarni (fizički), uključujući vodu koja napušta vodovodnu mrežu zbog curenja ili preliivanja. Za prevazilaženje problema velikih

gubitaka vode, pored zamene zastarele cevovodne mreže i izvođenja neophodnih remontnih radova, potrebno je preduzeti i druge mere vezane za upravljanje curenjima u sistemu. Tipično, aktivnosti upravljanja curenjem su povezane sa upravljanjem pritiskom i pronalaženjem lokacija curenja.

6. Literatura

- [1] Stankov S, Razvoj upravljačko nadzornih sistema – izazovi i tendencije, časopis *Bakar*, vol. 46, No. 2, str. 43-56, Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor, 2021.
- [2] Stankov S, Building management – modern tendencies, *Journal Annals of Faculty Engineering Hunedoara-International Journal of Engineering*, Volume XXI, fascicule 1, pp. 71-78, University politehnica Timisoara, Faculty of engineering Hunedoara, Romania, 2023.
- [3] Stankov S, Sistem nadzora i upravljanja postrojenjem za prečišćavanje vode, časopis *Vodoprivreda*, broj 4-6, vol. 50, str. 319-332, Srpsko društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje, Beograd, 2018.
- [4] Stankov S, Antić D, Petronijević M, Danković N, Automatizacija vodozahvata i mehaničkog prečišćavanja vode u fabrici vode „Mediana 2“, časopis *Procesna tehnika*, broj 2, decembar, godina 30, str. 18-22, Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera Srbije (SMEITS), Beograd, 2018.
- [5] Stankov S, Water Purification in the Process Industry, *Trideset sedmi međunarodni kongres o procesnoj industriji PROCESING 24*, Beograd, 29-31 maj, Zbornik radova, str. 121-140, DOI: 10.24094/ptk.024.121, SMEITS, Društvo za procesnu tehniku Beograd, 2024.
- [6] Stankov S, Big Data in Water Supply and Sewerage System, *journal Acta Technica Corviniensis-Bulletin of Engineering*, Tome XV, Fascicule 1 [January-March], pp. 21-25, Faculty of engineering Hunedoara, Romania, 2022.
- [7] <https://waterapp.in/technology/>
- [8] <https://icpdas.blog/2022/06/30/icp-dass-solution-for-cloud-data-visualization-in-water-supply-monitoring-system-india/>
- [9] https://www.minal.rs/pdf/Stethophon%2004_srb_web.pdf
- [10] <https://www.dukamam.co.rs/Gutermann/EasyScan.pdf>
- [11] https://cache.industry.siemens.com/dl/files/075/104423075/att_112125/v1/FST02_0_IP65_NEMA_4x_OI_EN_en-US.pdf

ВАНРЕДНИ ДОГАЂАЈИ (ПОПЛАВЕ И ХАВАРИЈЕ) У ДОСАДАШЊЕМ РАДУ РВС „РЗАВ“

EXTRAORDINARY EVENTS (FLOODS AND ACCIDENTS) OF RWSS RZAV UNTIL NOW

МИЛИЈАНКО РАДОЈЕВИЋ¹
ДЕЈАН ДИМКИЋ²

Стручни рад
DOI: 10.5937/VIK24217R

Резиме: Јавно предузеће „Рзав“, основано 1987. године, брине се о раду Регионалног система „Рзав“ (у даљем тексту РВС „Рзав“) које снабдева потрошаче у општинама Ариље, Пожега, Лучани, Чачак и Горњи Милановац већ више од 30 година. Досадашњи рад РВС „Рзав“ карактерише уредно снабдевање конзума квалитетном водом за пиће. Транспорт воде дистрибутивним системом је доминантно гравитациони, са релативно умереним притисцима и без наглих промена протока. Та околност, заједно са добрим квалитетом сирове воде, је утицала да су до сада губици увек били испод 5% (заједно са технолошким губицима на ППВ). Ипак, у фокусу овог рада су ванредни догађаји, који можда могу бити интересантни широј јавности. Даљи развој овог регионалног система је изванредан, и о томе се такође говори у мањој мери.

Кључне речи: регионални систем, ЈП „Рзав“, поплаве, хаварије, притисак, развој

Abstract: The public company RZAV, founded in 1987, takes care of the work of the Regional System RZAV, which supplies consumers in the municipalities of Arilje, Požega, Lucani, Čačak and Gornji Milanovac for more than 30 years. The previous work of RVS RZAV is characterized by the orderly supply of high-quality drinking water to consumers. Water transport through the distribution system is predominantly gravitational, with relatively moderate pressures and no sudden changes in flow. That circumstance, together with the good quality of the raw water, has influenced that so far, the losses have always been below 5% (together with the PPV losses). However, the focus of this work are extraordinary events, which may be of interest to the public. The further development of this regional system is certain, and it is also discussed to a lesser extent.

Key Words: regional system, JP RZAV, floods, accidents, pressure, development

¹ Милијанко Радојевић, ЈП „Рзав“, Чачанска бб, Ариље, masinstvo@rzav.co.rs, office@rzav.co.rs

² Дејан Димкић, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Јарослава Черног 80, Београд, dejan.dimkic@jcerni.rs, ORCID: 0000-0003-4994-2683

1. Увод

Јавно предузеће за водоснабдевање „Рзав“ или скраћено Регионални водосистем „Рзав“ (РВС „Рзав“) основано је 1987. године од стране пет оснивача, општина Ариље, Пожега, Лучани, Чачак и Горњи Милановац. Циљ оснивања РВС „Рзав“ јесте да одговори нарастајућим потребама за здравом пијаћом водом у поменутиим општинама, које су у претходним годинама имале изражен проблем водоснабдевања, како градског тако и становништва на сеоским подручјима.

Регионални водосистем „Рзав“ име је добио по реци Рзав (слика 1) једној од најчистијих река Србије, која својим током пролази кроз шумовите пределе западне Србије, обронцима планина Златибор и Мучањ, да би се непосредно испод Ариља улила у реку Моравицу, одакле надаље заједно теку под именом Западна Морава. Корисно је поменути да се у реку Рзав уливају и воде Височке и Рошке Бање у селима Висока односно Роге. Истина је да воде поменутих бања нису превише комерцијално/туристички обрађене, но мноштво народа недвосмислено сведочи о њиховим лековитим својствима.



Слика 1. Река Рзав

Figure 1. River Rzav

О идеји коришћења воде реке Рзав у сврхе водоснабдевања говорило се и радило читавом другом половином 20-ог века. Најпре 1957. године када су почели истражни радови и пројектовања ХЕ „Роге“ низводно од Рошке Бање. За ово енергетско постројење урађени су Главни пројекти за брану (за обе варијанте насута и бетонска). Постојала је идеја превођења вода реке Рзав у слив Ћетиње, али се од овог решења одустало.

Након тога дошло је до идеје и реализације изградње регионалног система за водоснабдевање „Рзав“ који је основан 1987. год, а са пробним радом отпочео октобра месеца 1992. године, када је здравом пијаћом водом снабдевао 4 општине и то Ариље, Пожега, Лучани и Чачак. Године 1996. месеца јула, рзавска вода пуштена је и у општину Горњи Милановац. Након тога водосистем „Рзав“ развијао се у правцу повезивања мањих (сеоских) потрошача (латералних потрошача) а то су Милићево село, Прилипац и Пилатовићи, Горобиле, Расна, Висибаба и Узићи, као и прикључак села Здравчићи на територији општине Пожега, односно прикључци за Видову, Пријевор, Трбушане и Прислоницу са бањом Трепчом на територији општине Чачак. Проток кроз поменуте латерале варирао је од 2-3 L/s па до 12-15 L/s. Развод рзавске воде на територији општине Г. Милановац кретао се у правцу села Брђани, а у задње време вода је кренула пут планине Рудник. Просторно гледано рзавска вода користи се од Горјана, села непосредно испред Ужица до Гуче, Дивчибара, планине Рудник и захвата добар део западне Србије - конзумно подручје око 300.000 становника. Упоредо с тим, почев од 1996. године, врши се пројектовање бране и акумулације Сврачково.

2. Опис Регионалног водоводног система „Рзав“ (РВС „Рзав“)

2.1. Идеја фазне изградње и њена досадашња реализација

Изградња водосистема „Рзав“ замишљена је да се изведе у две фазе. Првом фазом предвиђено је да са постројења иде до 1.200 L/s чисте воде а у другој до 2.400 L/s. Завршне тачке регионалног система су резервоари испред сваке од општина. Шематски приказ ситуације и висинског положаја главних објеката РВС „Рзав“ је дат на слици 2.

Прва фаза изградње подразумева изградњу бране и акумулације „Сврачково“, постројења за прераду воде у Ариљу, припадајућих цевовода и објеката на њему, резервоара, хлорних станица и слично. На до сада изграђене објекте, од Министарства грађевина, добијена је употребна дозвола 1997. године.

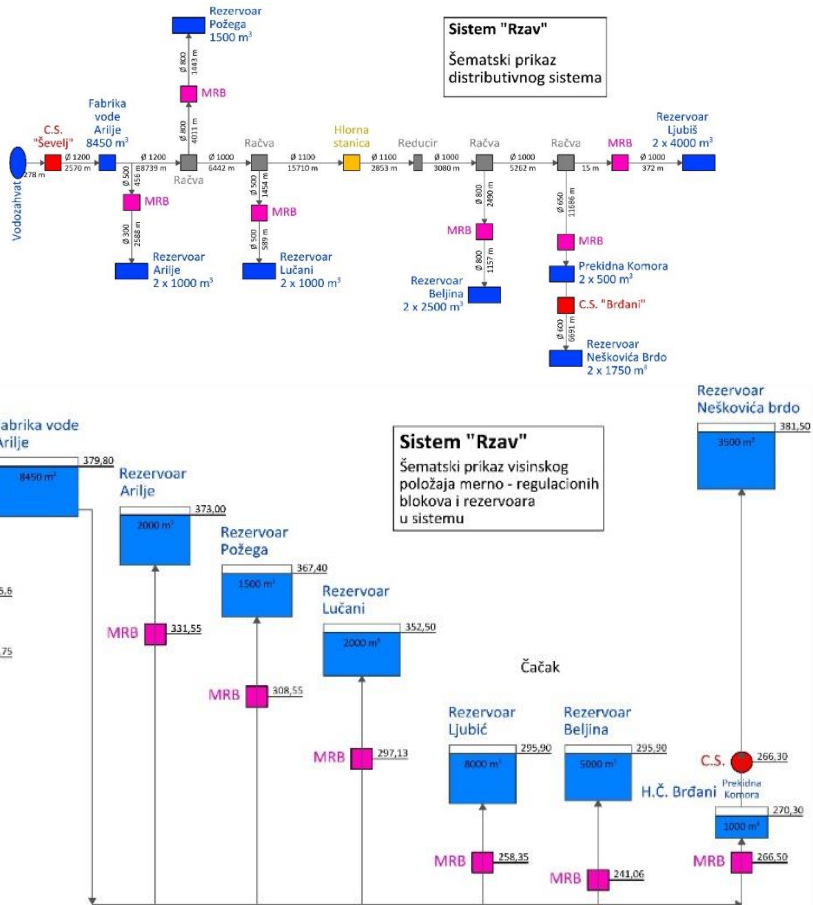
II фаза подразумева проширење у делу таложнице и филтерских поља, као и изградњу паралелног цевовода пречника $\phi 1.200$ mm почев од постројења у Ариљу до рачве за Пожегу и цевовода пречника $\phi 1.000$ mm почев од рачве за Пожегу до одвајања за Лучане. Због неприступачности терена кроз клисуру Овчар Бање цевовод ка Чачку и Г. Милановцу урађен је за коначну - II фазу.

До сада, у оквиру прве фазе, изграђени су следећи објекти:

- водозахват са пумпном станицом и припадајућим објектима;
- постројење за прераду воде у Ариљу;

- цевоводи почев од пумпне станице Шевељ до постројења за прераду сирове воде, дистрибутивни цевоводи са резервоарским просторима са свим припадајућим објектима на њему;

Изградња бране и акумулације „Сврачково“ је почела 2011. године и још је у току. Инвеститорске послове на изградњи бране почев од пројектовања, добијања ревидентске клаузуле, исходавања одобрења за изградњу код надлежног министарства грађевина били су у надлежности РВС „Рзав“ све до јуна 2021. године када су предати на даље вођење предузећу „Србијаводе“.



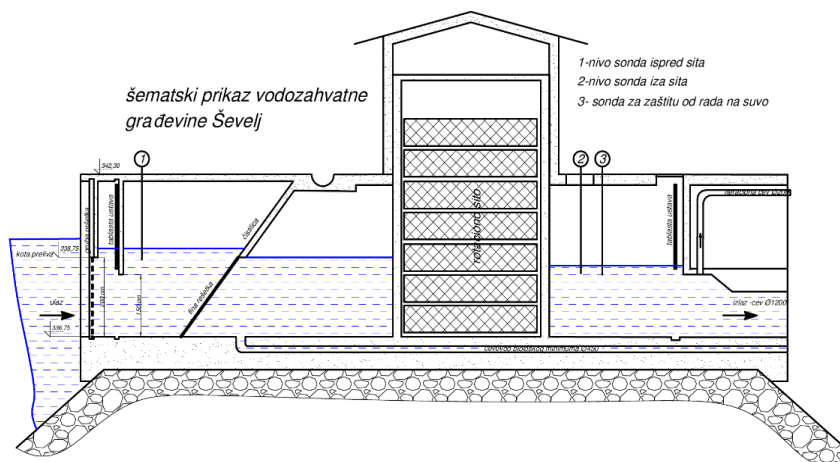
Слика 2. Шематски приказ ситуације и висинског положаја главних објеката РВС „Рзав“

Figure 2. Schematic representation of the situation and height position of the main facilities of RWSS „Rzav“

2.2 Концепт досадашњег функционисања водосистема „Рзав“

2.2.1. Привремени водозахват „Шевељ“ са пумпном станицом

Сирова вода почев од 1992. године, када је систем „Рзав“ пуштен у пробни рад, захвата се на бујичарској прегради „Шевељ“ и челичним цевоводом пречника 1.200 mm дужине 274 m води у пумпну станицу сирове воде. На поменутој прегради изграђена је и опремљена водозахватна грађевина на којој се врши груба филтрација воде од грања и лишћа уз помоћ најпре грубе решетке потом чистилице и на крају ротационог сита (слика 3).



Слика 3. Шематски приказ и изглед привременог водозахвата „Шевељ“ са водозахватном грађевином, и једно од три ротационих сита за грубу филтрацију сирове воде

Figure 3. Schematic representation and layout of the temporary water intake „Shevelj“ with water intake building, and one of the three rotary sieves for coarse filtration of raw water

Због снажне и хировите природе брдско планинске реке, која уме јако брзо да надође и са собом понесе пуно лишћа и грања, ова почетна тачка водосистема „Рзав“ до сада се показала као јако рањива, нарочито у првим јесењим месецима и месецима када се топи снег.

Од самог старта рада РВС „Рзав“ сирова вода се препумпава из пумпне станице „Шевел“ . Концептом водосистема „Рзав“ овакав начин рада биће окончан изградњом бране „Сврачково“ и њеним пуштањем у рад.

Пумпна станица „Шевел“ је на коти 335.57 м.н.м. и препумпава воду челичним цевоводом пречника 1.200 mm дужине 2.607 m у прекидну комору чије је кота око 52 m виша. Просечно месечно се испоручи око 1.5 милиона m³ воде корисницима тако да се за ових 32 године рада може говорити о преко 600 милиона m³ препумпане сирове воде различите мутноће.

Пумпна станица сирове воде организована је у два паралелна крака са по 3 пумпна двострујна центрифугална пумпна агрегата номиналне снаге ел. мотора 160 kW. Две антихамер посуде отвореног типа заједно са хидрауличним амортизерима задужене су за прихват и амортизацију хидро удара насталих испадом пумпи из рада.

Количина захваћене воде креће се у распону од око 450 L/s па до 800 L/s у време највеће потражње за водом и стањем нивоа реке на прегради „Шевел“ . По питању мутноће овај параметар иде од испод 1 NTU, па све до неколико стотина NTU јединица (максимално забележено 10000 NTU јединица) у време наглог пораста нивоа реке. На основу досадашњег рада може се рећи да се вероватно ради о најзахтевнијој или једној од технички најзахтевнијих пумпних станица у земљи.

2.2.2. Постројење за прераду воде

Постројење за прераду воде (ППВ) налази се на брду Клик изнад Ариља и у њему се врши прерада воде (слика 4). Одатле се вода дистрибуира гравитационо до резервоара крајњих корисника, осим општине Г. Милановац која воду добија препумпавањем из ПС лоциране у комплексу хидрауличног чвора „Брђани“ (крајња тачка гравитационог дистрибутивног цевовода).

Комплекс постројења за прераду воде подразумева следеће објекте:

- објекте за мерење, регулацију и расподелу сирове воде као и мерење протока чисте воде;
- таложница на принципу ламела сепаратор;
- озонаторе;
- брзе пешчане филтре;

- резервоаре чисте воде;
- пумпну и компресорску станицу са енергетским блоком;
- објекти за складиштење, припрему и дозирање хемикалија;
- командно контролни центар;
- лабораторије;
- објекат за третман отпадних вода;
- пословни простор са канцеларијама и радионицом;

Контролу квалитета сирове воде, након технолошких целина и завршну контролу на ППВ врши хемијско/микробиолошка лабораторија РВС „Рзав“.



Слика 4. Постројење за прераду воде РВС „Рзав“

Figure 4. Water treatment plant RWSS „Rzav“

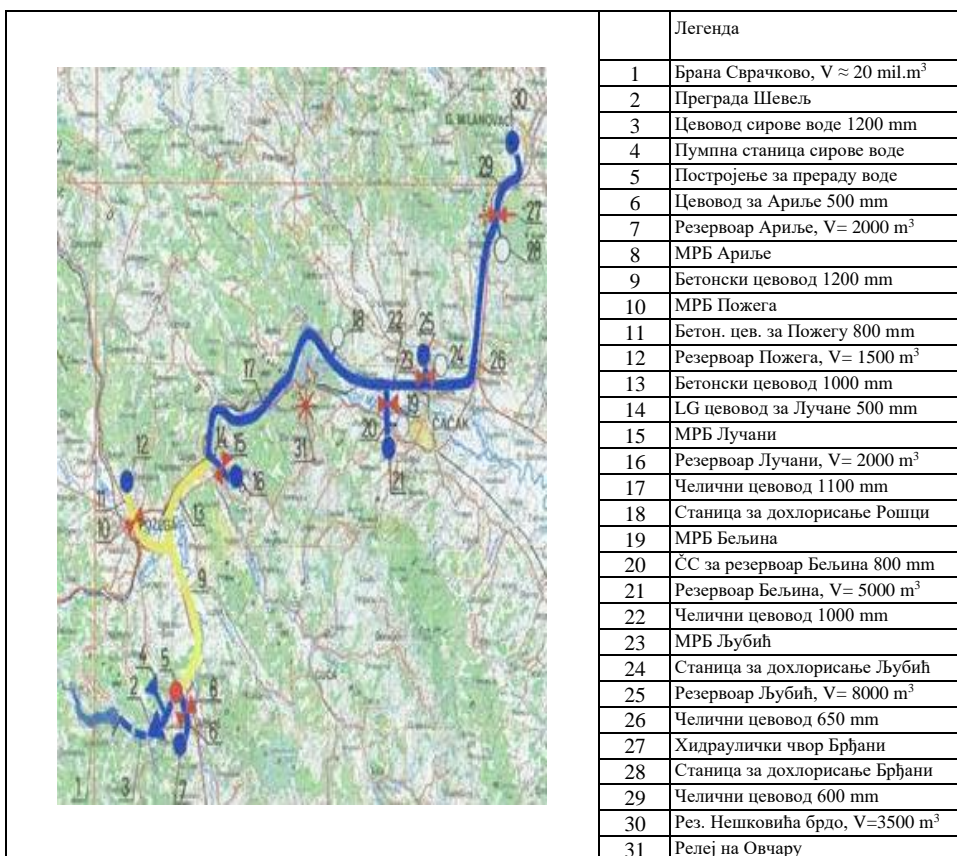
Процес прераде обухвата следеће:

Најпре се врши предхлорисање, потом корекција рН вредности 95% сумпорном киселином, а након тога додаје се раствор ал.сулфата и поли-електролита у процесу бистрења. Након бистрења следи озонизација, филтрација пешчаним филтерима и завршно хлорисање. Хлорисање се врши на магистралном цевоводу, као и на краку за Г. Милановац. Процес флуорисања воде обустављен је због немогућности добијања атеста за силикофлуоро-водоничну киселину.

Пре пуштања воде у дистрибутивни систем, на ППВ се вода у целости преради у складу са границама Правилника воде за пиће. Дешава се да по појединим параметрима (најчешће мутноће или садржаја органских материја) вредности „искоче“, али таква вода се баца. Сирова вода осим у параметру мутноће најчешће варира по питању садржаја органских материја изражених преко утроска калијум перманганата.

2.2.3. Дистрибутивни систем водосистема „Рзав“ - цевоводи, мерно регулациони блокови, латерални прикључци

Дистрибутивни систем РВС „Рзав“ састоји се из магистралног цевовода дужине 53.813 m са преко 53.000 m³ воде у кретњи, који почиње пречником 1.200 mm, а завршава се пречником 650 mm. Латерални краци до 6 резервоара у 5 општина имају додатну укупну дужину од око 21 km. (слика 5). Притисци дуж цевовода се мењају, а максимални иду и до 14.3 бара.



Слика 5. Диспозиција дистрибутивног система РВС „Рзав“

Figure 5. Disposition of the distribution system RWSS „Rzav“

Дистрибутивни цевоводи РВС „Рзав“ састоје се од армирано бетонских и челичних спирално варених цеви. Крак Лучани урађен је од ливено гвоздених цеви. Челични цевовод штити се катодно, а поједини челични сегменти на бетонском цевоводу протекторски. Регулација протока врши се клипно-прсте-

настим затварачима у мерно регулационим објектима (МРБ-ови) у којима се врши мерење и регулација протока, као и мерење параметара притисака и резидуалног хлора. Ових објеката има по један за сваку општину корисницу воде изузев Чачка који има два МРБ-а.

Латерални прикључци имају такође објекат овог типа. Корисно је напоменути да поједини латерални МРБ-ови раде на 24V DC (фотонапонски панели) због проблема у довођењу мрежног напона (слика 6). Регулација протока врши се даљински (изузев на неколико латералних прикључака) као и пренос података системом SCADA у диспечерски центар на постројењу у Ариљу.



Слика 6. Унутрашњост МРБ Брђани и Латерални прикључак са фотонапонским ћелијама

Figure 6. Interior of MRB Brđani and Lateral connection with photovoltaic cells

Контролу квалитета чисте воде на цевоводу, градским и дистрибутивним резервоарима РВС „Рзав“ раде Заводи за заштиту здравља Ужице и Чачак. Основна карактеристика дистрибутивног цевовода РВС „Рзав“ јесте диспропорција пројектованог и оствареног протока воде кроз МРБ-ове. Ово за последицу осим великог притиска у цевоводу има и брзине струјања флуида, које су највећим делом године у вредности 0,3-0,5 m/s (на краку Пожега 0,1 m/s) што ствара услове за таложење органолептичких честица по обиму цевовода и појаву мутноће у време појачане потрошње. У хидрауличком чвору Брђани врши се најпре прихват воде у прекидну комору, а потом њено препумпавање у резервоар Г. Милановца. Енергетски гледано овде се врши обарање притиска воде из цевовода на атмосферски („бацање“ 11 бар притиска из цевовода, а потом узимање енергије из електро мреже за препумпавање на потисни притисак од 13 бара).

Овај проблем је настао из разлога димензионисања цевовода за коначну дистрибуцију (пројектовани протоци знатно већи од остварених) и пада притиска који би њиме био изазван, као и висинског положаја резервоара Г. Милановац. Наведено узрокује потребу димензионисања снажније опреме, цевовода и пратеће опреме за хидро удар (антихамери мембранског типа) итд.

Унутар пумпне станице налазе се 4 пумпна агрегата од којих су 3 пумпна агрегата тростепене пумпе снаге ел. мотора 250 kW испоруке 125-130 L/s а један двостепени пумпни агрегат снаге ел. мотора 132 kW испоруке 75 L/s.

2.2.4. Добре стране рада водосистема „Рзав“

Редован режим рада водосистема „Рзав“ карактерише, поред уредног снабдевања потрошача квалитетном водом за пиће, и јако мали губици у систему. Сво време од када овај систем ради, они су на годишњем нивоу испод 5%, и то са обрачунатим губицима на самом постројењу. У добре стране овог система спада и чињеница да је транспорт вода у највећем делу дистрибутивног система гравитациони, као и да је праћење рада система и аутоматика на завидном нивоу.

2.2.5. Проблеми у раду

За сво време досадашњег рада основни проблеми техничке природе су били следећи:

- јако променљиви услови квалитета сирове воде као и проблеми у захваћању исте настали услед наглог пораста нивоа реке као и услед наноса лишћа и грања на уста водозахватне грађевине;
- релативно високи притисци на магистралном цевоводу, мале брзине струјања флуида кроз цевоводе чисте воде;
- проблем енергетске неефикасности рада са захватом из живог тока, као и код хидрауличког чвора „Брђани“;
- проблеми малог резервоарског простора како на ППВ тако и по градовима који дају малу временску резерву за континуално водоснабдевање у условима обуставе дистрибуције вода са постројења „Рзав“
- у проблем техничко-административне природе спада, као што је наведено, знатно већи капацитет овог РВС од садашњих потреба конзума, тиме и потреба за новим потрошачима. То је пожељно због економског, а повољно би било и са аспекта сигурности у квалитет испоручене воде.

3. Ванредни догађаји

Иако ретки, забележено је неколико појава ванредних догађаја око РВС „Рзав“. Ванредне догађаје делимо у две групе и то:

- 3.1 Ванредни догађаји изазвани оштећењима на магистралном цевоводу;
- 3.2 Ванредни догађаји који су изазвани поплавама;

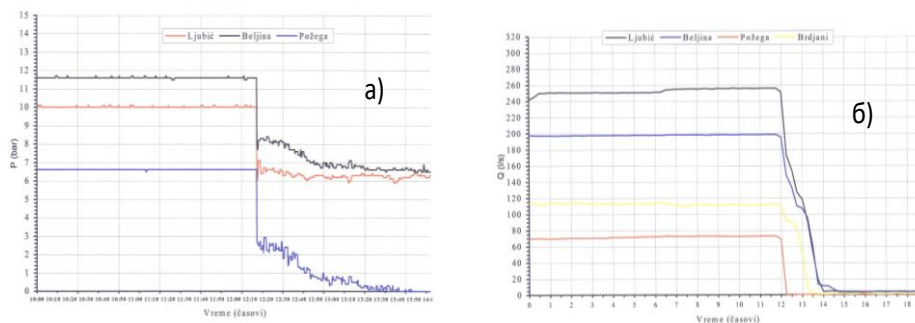
3.1 Ванредни догађаји изазвани оштећењима на магистралном цевоводу

3.1.1. Хаварија на магистралном цевоводу - јун 1996. године Трбушани

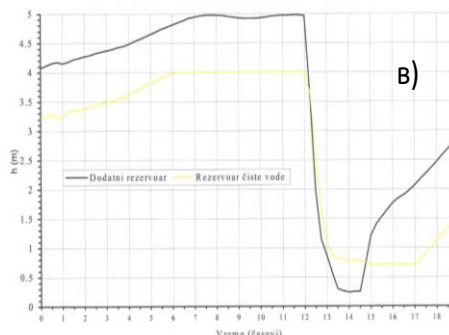
Не рачунајући интервенције на дистрибутивном цевоводу, прва озбиљнија хаварија догодила се јуна 1996. године. Манифестовала се истискивањем/избацивањем велике кугле ваздушног вентила из тела вентила у шахти вентила у месту Трбушани (неколико km испред Чачка). Све ово последица је појаве превеликог притиска насталог као последица хидрауличног удара. Наиме, нестручном манипулацијом затварачима од стране радника ЈКП „Водовод“ - Чачак у МРБ Бељина - Чачак дошло је до наглог затварања лептирастог затварача што је био повод за појаву снажног хидро удара. То је за последицу имало хаварију ваздушног вентила и прекид у водоснабдевању. Ова хаварија изазвала је прекид у водоснабдевању у трајању од 2 дана.

3.1.2. Хаварија на магистралном цевоводу - август 2000. године у месту Горобиље

Дана 6. августа 2000. године дошло је до ничим изазваног пуцања бетонске цеви пречника 1.200 mm на стационажи 6+920 дистрибутивног магистралног цевовода у подручју села Горобиље. Обим оштећења је био такав да су се дистрибутивни фабрички резервоари запремине 8.000 m³. испразнили за неколико минута. Процењује се да је проток кроз цевовод ф 1.200 mm испред места хаварије био око 3.500 L/s. Прекид у водоснабдевању трајао је 3 дана. Детаље настале хаварије илуструју дијаграми на слици 7.



Слика 7 а) Дијаграм притисака у МРБ Пожега, Љубић и Бељин
 Figure 7 a) Diagram of pressures in MRB Požega, Ljubici and Beljin
 Слика 7 б) Дијаграм протока у МРБ Пожега, Љубић, Бељин и Брђани
 Figure 7 b) Flow diagram in MRB Požega, Ljubici, Beljin and Brđani



Слика 7 в) Дијаграм нивоа на резервоарима ППВ
 Figure 7 v) Level diagram on Water treatment reservoirs

3.1.3. Хаварија на магистралном цевоводу: август 2013. - Пријановићи

Августа 2013. године на стационажи 11+725 у месту Пријановићи дошло је до хаваријског оштећења бетонске цеви ϕ 1.000 магистралног дистрибутивног цевовода (слика 8). Обим оштећења је био такав да је прекид у водоснабдевању трајао 3 дана до замене бетонске цеви челичном.



Слика 8. Оштећење бетонске цеви ϕ 1000
 Figure 8. Damage to concrete pipe ϕ 1000

3.1.4. Хаварија на краку за Лучане - јануар 2016. године

Јануара месеца 2016. године дошло је до пуцања ваздушног вентила на делу цевовода крака за Лучане. Наиме, део цевовода поменутог крака прелази преко истоименог моста па је услед дуготрајног хладног времена дошло до мржњења воде унутар ваздушног вентила да би у периоду крављења дошло до пуцања вентила и наглог истицања. Слика 9 илуструје настало истицање као и дијаграм притиска кроз МРБ-ове.



Слика 9. Мост Лучани истицање услед мразом изазваног пуцања засуна, и сам засун

Figure 9. Lučani Bridge - protrusion due to frost-induced cracking of the latch, and the latch itself

3.2 Ванредни догађаји који су изазвани поплавама и великим водама

3.2.1 Поплаве новембар 2009, април 2014. и март 2016. године

У наведеним датумима услед великих падавина дошло је појаве великих вода (слика 10), изливања истих и плављења објеката, мерно регулационих блокова и остале инфраструктуре РВС „Рзав“. Било је великих проблема у функционисању како дела прераде тако и дистрибуције воде.

Током поплавног таласа почетком новембра 2009. године забележен је ниво на привременом водозахвату од преко 3.5 m са процењеним протоком од преко 300 m³/s. Марта 2016. године забележен је сличан ниво и проток реке док је 2014. године ниво и проток био нешто мањи. Просечан годишњи проток износи 6-8 m³ и он се из године у годину смањује. У овим ситуацијама угрожени су параметри квалитета мутноћа односно садржај органским материја који значајно искачу у једном шпицу који траје 5-8 сати а потом се устале и опадају. Тако на пример мутноћа у време пораста нивоа на водозахватној грађевини иде на максималних 1.800 NTU а утрошак KMnO₄ 200 mg/l (границе 1 NTU, односно 8 mg/l) и посебно је опасна за технологију уколико се не предвиди и не отпочне са јаким дозама унапред. Ситуација се стабилизује чим параметри престану са растом, када стагнирају и полако почну опадати. Крајњи корисници овакве ситуације до сада нису осетили.

Овакве ситуације трају 2-3 дана, али први дан је најтеже издржати. Ваља напоменути да овакве ситуације, најчешће путем темељног испуста, јако добро очисте уста водозахватне грађевине, мада је било ситуација када река навуче балване који механички запрече темељни затварач. У тој ситуацији ангажовани су рониоци у једној ризичној операцији вађења нанетих трупаца.



Слика 10 а) Фотографија поплаве 7.11.2009.

Слика 10 б) Штете од поплаве 7.3.2016.

Figure 10 a) Flood on November 7, 2009.

Figure 10 b) Flood damage on March 7, 2016.

4. Даљи развој и потреба за новим потрошачима

4.1 Брана и акумулација „Сврачково“

Изградњом бране „Сврачково“ била би употпуњена прва фаза изградње РВС „Рзав“ што би обезбедило неопходну количину сирове воде у месецима наглашене летње потрошње, и значајно мање трошкове ел.енергије, који у овом тренутку по основу препумпавања износе и преко 60 милиона динара годишње. По питању хидрологије и заштите од великих вода брана „Сврачково“ имала би значајну улогу. Такође стварају се услови за уградњу и пуштање у рад 2 хидро турбине за производњу ел.енергије снаге 2 x 3,6 kW. Изградњом бране би, технички гледано, било омогућено разматрање прикључења нових општина-корисника вода овог регионалног система.

До сада пресек радова на брани „Сврачково“ је (део приказан на слици 11):

- урађен је приступни пут у дужини од 2826 метара за који је добијена употребна дозвола;
- урађен је далековод 35/10 kVA за повезивање на ел. мрежу у дужини од око 5.000 m за који је такође добијена употребна дозвола;
- пробијена су сва три тунела и то тунел шахтног прелива, тунел темељног испуста и енергетски тунел;
- марта 2024. река је преусмерена у оптични тунел чиме су створени услови за израду ињекционе галерије, предбране и услови за насипање бране;
- завршени су сви бетонски радови на тунелима и извршена заштита реке у зони слапишта (урађена је водозахватна кула и тунел шахтног прелива);



Слика 11. Изграђени објекти на брани „Сврачково“: Шахтни прелив и водозахватна кула

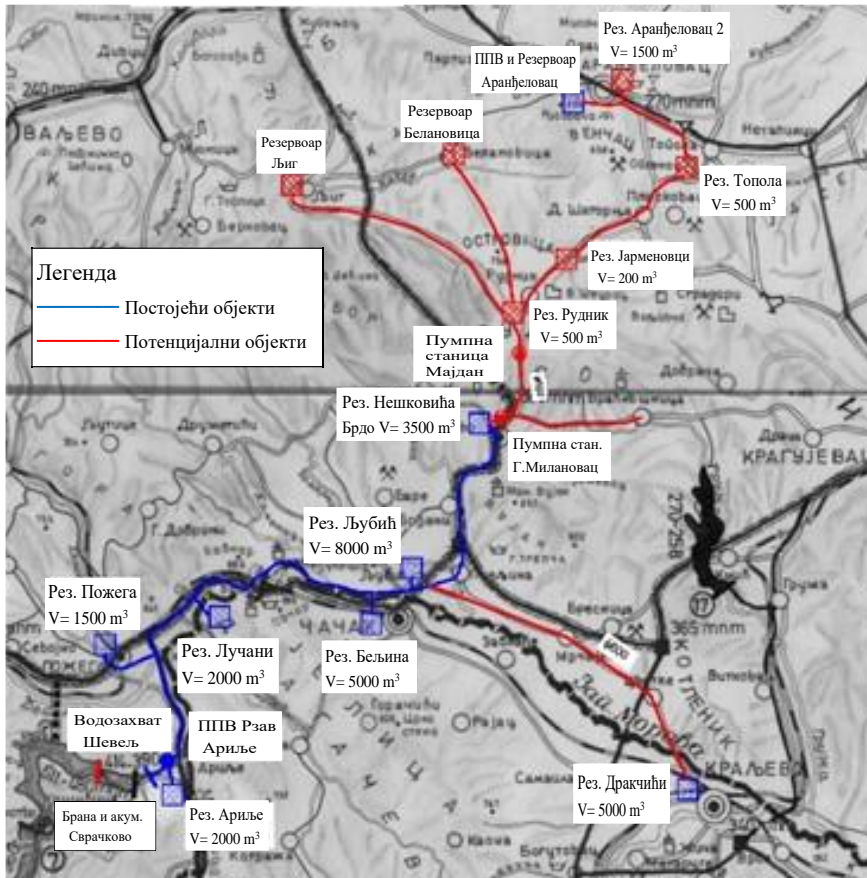
Figure 11. Constructed facilities on the „Svrackovo“ Dam: Shaft spillway and water intake tower

4.2. Даљи развој ППВ и дистрибутивног система

Предвиђени развој ППВ и дистрибутивног система у садашњим границама је описан у 2.1, 2.2.2. и 2.2.3. Имајући у виду капацитете овог система (посебно по изградњи бране „Сврачково“), као и дугорочне потребе за водом постојећих пет општина корисника (знатно мање од некада планираног), намеће се закључак да треба размотрити прикључење нових корисника на овај квалитетан регионални систем. Ко су потенцијални нови корисници?

Поред неких мањих места у постојећих 5 општина-корисника, то би могле бити општине Топола (пре свих) и Аранђеловац, као и делови општина Љиг и Краљево. Не улазећи детаљно у техничке анализе (документационо обрађене и изводљиве, вероватно и оптималне за неке од ових општина), констатујемо да би општине Топола и Аранђеловац могле добити воду са Рзава и пре изградње бране „Сврачково“, без угрожавања водоснабдевања постојећих општина корисника.

Наиме, они би могли добијати воду са Рзавског система само у периодима када има „вишка“ воде – то значи подмирени 100% сви постојећи корисници и биолошки минимум, и још остављена резерва 10%. То би омогућило да акумулације из којих се Аранђеловац данас снабдева дочекају сушни период сваке године пуне. Оне су довољне запремине да подмире потребе општина Аранђеловац и Топола у сушном периоду од бар 5 месеци сваке године, и у том периоду ове две општине не би морале узимати ни „кап“ воде из РВС „Рзав“.



Слика 12. Постојеће стање и могуће проширење РВС „Рзав“
 Figure 12. Existing state and possible expansion of RVS „Rzav“

Делови општине Љиг ближе Руднику (потребе мале, реда 10-ак L/s) могу добити воду гравитацијом по изградњи резервоара Рудник, заједно са Тополом и Аранђеловцем.

Резервоар „Дракчићи“ код Краљева може добити воду из РВС „Рзав“, преко једног од резервоара близу Чачка, али обзиром на недостајуће количине воде за град и успутна насеља (реда 200 L/s), тек по изградњи бране Сврачково. Слика 12 даје приказ овог хипотетичког решења - могућег проширења РВС „Рзав“ на нове кориснике.

Пре неколико година, цевовод од Горњег Милановца до насеља Рудник је урађен, али на жалост пречника који је довољан само за транспорт воде за ово и евентуално још 1-2 мања насеља.

Наравно, поред техничког, постоји и правно-административни аспект укључења нових општина-корисника, који није једноставан, и може бити доста велика препрека, али та проблематика превазилази оквире овог рада.

5. Битна искуства из досадашњег рада и закључак

Развој РВС „Рзав“ је у складу са стратешким и планским документима [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Поред тога, у овом раду су коришћени и подаци о квалитету вода овлашћених установа, као и сама (интерна) документација ЈП „Рзав“ [7, 8].

Током више од 30 година непрекидног рада (осим у периоду од 2-3 дана услед хаваријских оштећења цевовода) може се са сигурношћу рећи да је РВС „Рзав“ оправдао своје место и улогу у водоснабдевању становништва овог дела западне Србије. Препознат је као субјект чисте здраве, хигијенски исправне пијаће воде а проблеми у водоснабдевању поменутих корисника који су били наглашени током 80-их година брзо су заборављени.

Поред мањих набројаних недостатака, основни проблем овог регионалног система је много већи капацитет система од потреба корисника у већем делу године (већ данас, а поготову по изградњи бране). Стога су нови корисници веома потребни како би се повећала рентабилност овог квалитетног РВС, а уједно и решило/побољшало питање водоснабдевања у неким угроженим општинама.

Хаваријске ситуације, као што је приказано, су ипак биле ретке и може се рећи да се ЈП „Рзав“ успешно носио са њима. Један од битних разлога је гравитациони транспорт воде од ППВ Ариље до граница (резервоара) свих општина.

6. Литература

- [1] *Водопривредна основа Србије (ВОС)*, наручилац: Републичка дирекција за воде (РДВ), Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд, 2001.
- [2] *Стратегија управљања водама на територији Републике Србије до 2034. године*, наручилац: Републичка дирекција за воде, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд, 2016.
- [3] *Главни пројекти изградње регионалног система Рзав из 80'их и 90'их година*, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд, 1985-1992.
- [4] *Главни пројекти изградње бране „Сврачково“ из 90' их година*, Енергопројект ДОО, Београд, 1997-2000.
- [5] *Студија водоснабдевања Шумадије и Поморавља*, наручилац: Републичка дирекција за воде Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд, 2006.

- [6] Студија: *Анализа рада система Рзав у условима продуженог рада прелазног решења са привременим водозахватом из живог тока реке*, наручилац: ЈП „Рзав“, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд, 2006.
- [7] Анализе квалитета вода које спроводе Здравствени заводи у Ужицу и Чачку
- [8] Интерна документација ЈП „Рзав“.

MATEMATIČKI MODEL ZA TEHNIČKO EKONOMSKU ANALIZU ZA OPTIMIZACIJU PUMPNOG GRAVITACIONOG SISTEMA VODOSNABDEVANJA

MATHEMATICAL MODEL FOR TECHNICAL ECONOMIC ANALYSIS FOR THE OPTIMIZATION OF PUMP GRAVITY WATER SUPPLY SYSTEM

GOCE TASESKI¹,
NIKOLA KRSTOVSKI²

Stručni rad
DOI: 10.5937/VIK24235T

Rezime: Nagli rast cene električne energije doveo je do potrebe da upravljanje vodovodima ima novi primarni cilj, a to je zahvatanje novih podzemnih gravitacionih izvora vode koji su na relativno većoj udaljenosti od postojećeg vodosnabdevanja sistema, kako bi se smanjile količine vode koje se dobijaju pumpanjem. Svrha ovog rada je da se razvije matematički model za tehničko-ekonomsku analizu (cost-benefit analiza) postojećeg sistema vodosnabdevanja, za koji je predviđeno zahvatanje dodatnog gravitacionog izvora vode, pri čemu će se analizom troškova izgradnje gravitacionog cevovoda i ukupnih operativnih troškova sistema kao što su: troškovi održavanja, amortizacije i električne energije odrediti optimalna količina vode koju treba zahvatiti iz budućeg gravitacionog izvora vode.

Ključne reči: kombinovani sistem vodosnabdevanja, podzemne vode, cost-benefit, optimizacija

Abstract: The rapid growth of the price of electricity has led to the need for the management of water supply systems to have a new primary goal, which is the capture of new underground gravity sources of water that are at a relatively greater distance from the existing water supply system, in order to reduce the quantities of water that are provided by pumping. The purpose of this paper is to develop a mathematical model for a technical economic analysis (cost benefit analysis) of an existing water supply system for which an additional gravity source

¹ Goce Taseski, Univerzitet Sv. Kiril i Metodij, Građevinski fakultet, Bulevar partizanskih odreda 24, Skoplje, Severna Makedonija, taseski@gf.ukim.edu.mk, ORCID: 0000-0002-4415-0321

² Nikola Krstovski, Univerzitet Sv. Kiril i Metodij, Građevinski fakultet, Bulevar partizanskih odreda 24, Skoplje, Severna Makedonija, nikolatudence@gmail.com, ORCID: 0009-0008-7602-171X

of water is foreseen, where by analyzing the construction costs of the gravity pipeline and the total operating costs of the system such as: maintenance, depreciation and electricity costs, the optimal amount of water that should be taken from the future gravity water source will be determined.

Key Words: combined water supply system, groundwater, costs - benefits, optimization

1. Uvod

Svakodnevno poskupljenje električne energije, posebno u zemljama u razvoju, ima veliki uticaj na troškove u javnim preduzećima, posebno u vodovodima gde potrebe za vodom obezbeđuju crpne stanice, gde je električna energija glavni izvor energije. Dok su rukovodioci javnih preduzeća u trci da pronađu gravitacione izvore vode koji su na većoj udaljenosti od naseljenog mesta, i dok je uvek sa ekonomske tačke gledišta uslov da se uz minimalnu cenu ostvare maksimalna korist inženjeri su prinuđeni da ispune ove uslove vodeći računa o tehničko-ekonomskom delu projektovanja.

Treba znati da su gravitacioni izvori podzemni izvori čiji je kapacitet promenljiv tokom cele godine i u većini slučajeva je minimalan kada je potrošnja vode najveća i obrnuto. Dakle, shodno tome se postavlja pitanje na koliko vode dimenzionisati gravitacione dovodne cevovode da bi količina vode koja bi se pumpala bila optimalna, odnosno da bi se dobila optimalna cena postojeće pumpe i novog gravitacionog sistema.

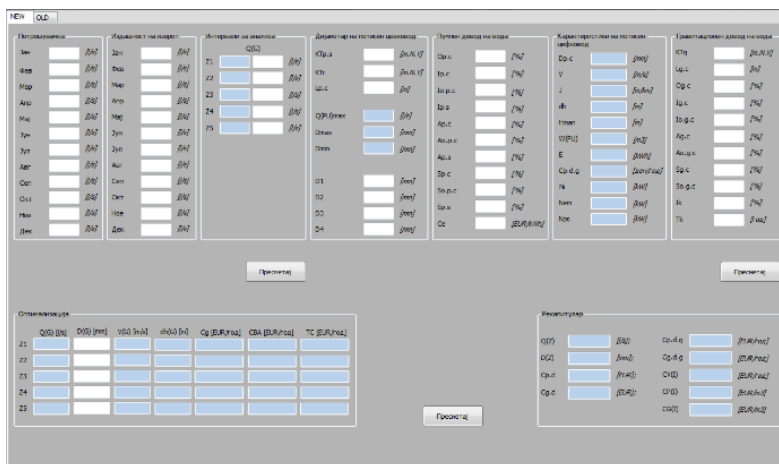
Optimalna cena je najniža cena među svim analiziranim alternativama. Zbog toga će se tokom postupka optimizacije koristiti matematički modeli (linearno i dinamičko programiranje), gde se do rešenja dolazi rešavanjem niza zadataka. Ovi modeli optimizacije su formulisani u dve faze i to: eksterna faza u kojoj se određuje protok i interna procedura za određivanje optimalnog prečnika dovodnih cevovoda potrebnog za obezbeđenje prethodno utvrđenih potreba [2].

Kao što je već pomenuto u ovom radu, analiziraće se kombinovani sistemi vodosnabdevanja [1], gde se snabdevanje vodom obezbeđuje na dva načina: 1) gravitacionim putem, zahvatanjem vode sa izvora koji su na većoj nadmorskoj visini od rezervoara i koji se ne susreću sa potrebe za vodom u pojedinim godišnjim dobima, mesecima ili danima u godini (ne poklapaju se hidrogram kapaciteta izvorišta i hidrogram potrošnje vode) i 2) crpne stanice koje će dopuniti nedostatak vode u vodovodu. Odnosno, gravitacioni dovodni cevovodi mogu biti dimenzionisani za različite količine vode u rasponu od minimalnog do maksimalnog kapaciteta izvora. Ako se gravitacioni dovodni cevovodi dimenzionišu za minimalni kapacitet izvora, prečnik dovodnih cevi će biti najmanji, pa će stoga troškovi izgradnje dovodnog cevovoda biti minimalni, ali istovremeno i količine vode koje će morati da se dodaju pumpanjem biće maksimalna, što znači da će njihovo trajanje biti najduže i samim tim

će investicioni troškovi pumpane vode biti najveći, a troškovi za rad celog sistema maksimalni. Uz sve navedeno, očigledno je da je količina vode koja se zahvata iz gravitacionih izvora negde između maksimalnog i minimalnog kapaciteta izvora.

2. Računarski program „WATER-OPTIMUM“

Jednostavno i brzo rešenje matematičkog modela je od velikog značaja za inženjere, pa će se matematički model rešavati korišćenjem računarskog programa „WATER-OPTIMUM“, koji će na jednostavan i brz način odrediti količinu vode koja se koristi iz izvora gravitacije. „WATER-OPTIMUM“ je kompjuterski program koji je prvobitno kreiran za analizu postojećeg vodovodnog sistema u Makedoniji – ohridskog vodovoda sa osnovnom svrhom da se odredi optimalna količina gravitacione vode koja bi se koristila u budućnosti. u cilju smanjenja trenutnih troškova električne energije za crpljenje vode iz Ohridskog jezera. Štaviše, program je nadograđen tako da može da se koristi za projektovanje novih ili proširenje postojećih sistema, a takođe može pomoći u analizi nekoliko gravitacionih izvora vode svaki na različitim lokacijama i svaki na različitoj udaljenosti od naselja, kako bi se proveriti njihovu ekonomsku opravdanost za potrebe vodosnabdevanja naselja.



Slika 1. „WATER-OPTIMUM“ interfejs
Figure 1. „WATER-OPTIMUM“ interface

Rad sa „WATER-OPTIMUM“ moguć je samo u Windows operativnom sistemu, a njegov interfejs prikazan na slici 1 obuhvata polja za unos koja su bele boje i kontroliše ih korisnik programa, izlazna polja plave boje gde se nalaze rezultati analize i tri dugmeta. pod nazivom „Izračunaj“ (izračunaj) se prikazuju, gde se rezultati izlaza mogu pretraživati samo jednim klikom.

3. Matematički model

Softver „WATER-OPTIMUM“ koristi matematičke relacije za izradu analize COST – BENEFIT kombinovanih sistema vodosnabdevanja [1]. S obzirom na to da softver može analizirati više tipova kombinovanih sistema vodosnabdevanja, ovaj rad će dati kompletan opis matematičkog modela pri analizi postojećeg potpuno pumpnog vodovoda, za koji je potrebno odrediti optimalnu količinu buduće gravitacione vode, kako bi se optimizovali troškove električne energije u postojećoj crpnoj stanici. Prvobitno, pre početka korišćenja modela, potrebno je analizirati podatke o: potrošnji vode po mesecima, kapacitetu izvora po mesecima, količini ispumpane vode po mesecima, kao i skup podataka o geometrijskim karakteristikama postojeće pumpe i budući gravitacioni cevovod. Sledeći odnosi će uvek važiti za količinu pumpane vode:

$$QPU(I,J)=QP(I)-QG(J) \text{ za } QP(I)-QG(J) \geq 0 \quad (1)$$

$$QPU(I,J)=0 \text{ za } QP(I)-QG(J) < 0 \quad (2)$$

gde: QPU(I, J) – količina pumpane vode,

QP(I) – potrošnja vode u vodovodnom sistemu i

QG(J) – kapacitet izvora gravitacione vode.

Zatim se radi ekonomska analiza iz koje se utvrđuju investicioni i eksploatacioni troškovi pumpnog i gravitacionog dela vodovoda.

3.1. Investicije i operativni troškovi pumpnog snabdevanja

S obzirom na to da se u ovom radu analizira sistem sa već postojećim potisnim cevovodom koji pumpom snabdeva vodu, za njega se neće utvrđivati investicioni troškovi, već će se analizirati samo troškovi eksploatacije, koji su u funkciji procenjene trenutne investicione vrednosti postrojenja, potisnog cevovoda i pumpne stanice. Dakle, ukupni operativni troškovi postojećeg pumpnog sistema se određuju prema sledećoj jednačini [2]:

$$\begin{aligned} C_{p.dgod} = & (C_{Ip.s} + C_{Ip.c} + C_{Io.p.c}) + \\ & + (C_{Ap.s} + C_{Ap.c} + C_{Ao.p.c}) + \\ & + (C_{Op.s} + C_{Op.c} + C_{Oo.p.c}) + C_e \end{aligned} \quad (3)$$

gde: $(C_{Ip.s} + C_{Ip.c} + C_{Io.p.c})$ – troškovi investicionog održavanja crpne stanice, cevovoda i cevovodne opreme.

$(C_{Ap.s} + C_{Ap.c} + C_{Ao.p.c})$ – troškovi za amortizaciju pumpne stanice, cevovoda i opreme cevovoda.

$(C_{Op.s} + C_{Op.c} + C_{Oo.p.c})$ – troškovi održavanja pumpne stanice, cevovoda i opreme cevovoda.

C_e – troškovi električne energije

Analizom eksploatacionih troškova dobija se cena m³ vode, pri čemu treba poštovati sledeća ograničenja:

Prvo: Ako $QP(I) > QZ(I)$ i $QG(J) \geq QZ(I)$ onda $QPU(I) = QP(I) - QZ(I)$

Drugo: Ako $QP(I) > QG(I)$, $QZ(I) \geq QG(J)$ i $QP(I) > QZ(I)$ onda $QPU(I) = QP(I) - QG(I)$

Treće: Ako $QG(J) > QP(I)$ i $QZ(J) \geq QP(I)$ onda $QPU(I) = 0$

Prema prethodnom, zapremina pumpane vode je:

$$\Sigma WPU(I) = \Sigma QPU(I) \times T(I) \quad (4)$$

gde: $QG(J)$ – kapacitet izvora gravitacije

$QZ(I)$ – količina zahvaćene gravitacione vode

$QP(I)$ – potrošnja vode u vodovodnom sistemu

$QPU(I)$ – količina pumpane vode

$T(I)$ – trajanje pumpanja

Cena m³ pumpane vode je:

$$CPU(I) = Cp.dgod / \Sigma WPU(I) \quad (5)$$

3.2. Investicioni i operativni troškovi gravitacionog dovoda

U ovom analiziranom slučaju, dovodni cevovod je potpuno novi cevovod za koji su investicioni troškovi određeni sledećom jednačinom [2]:

$$CIg = CIc + CIo.g.c \quad (6)$$

$$CIc = LG.C \times CD \quad (7)$$

$$CD = a + b \times D + c \times D^2 \quad (8)$$

gde: CIg – ukupna investiciona vrednost gravitacionog dovoda

CIc – vrednost investicije za izgradnju gravitacionog cevovoda

$L_{G.C}$ – dužina cevovoda

C_D – cena m' cevovoda

D – prečnik cevi

a, b и c – parametara za određivanje C_D

$CIo.g.c$ – troškovi za izgradnju sve potrebne opreme za gravitaciono dovoda

Operativni troškovi se određuju na identičan način kao i operativni troškovi za napajanje pumpe, prema sledećoj jednačini:

$$Cg.dgod = (CIg.c + CIo.g.c) + (CAg.c + CAo.g.c) + (COg.c + COo.g.c) \quad (9)$$

gde: $(CIg.c + CIo.g.c)$ – troškovi investicionog održavanja cevovoda

$(CAg.c + CAo.g.c)$ – troškovi za amortizaciju pumpne stanice, cevovoda

$(COg.c + COo.g.c)$ – troškovi održavanja cevovoda i opreme cevovoda

Količina gravitacione vode koja će tokom analizirane hidrološke godine biti dovedena gravitacionim dovodnim cevovodom, pored hidroloških karakteristika zavisice i od proticaja za koji je dovodni cevovod dimenzionisan, kao i od potreba za vodom vodotoka. naseljavanje. Ovde treba napomenuti da količina vode koju potrošači neće koristiti (voda koja bi se prelila na rezervoaru ili unosu) nije predmet analize matematičkim modelom.

Dakle, sledeća ograničenja su uključena u model:

Prvo: Ako $QG(J) \geq QZ(I)$ onda $QZ(I) = QZ(I) - QPR(I)$

Drugo: Ako $QZ(I) > QG(J)$ onda $QZ(I) = QG(J) - QPR(I)$

Treće: Ako $QZ(I) \geq QP(I)$ i $QG(J) \geq QP(I)$ onda $QZ(I) = QP(I) - QPR(I)$

Prelivna količina vode se određuje prema sledećoj jednačini:

$$QPR(I) = QZ(I) + QPU(I) - QP(I) \quad (10)$$

Prema prethodnom, zapremina gravitacione vode je:

$$\Sigma WG(I) = \Sigma QZ(I) \times T(I) \quad (11)$$

gde: $QZ(I)$ – količina zahvaćene gravitacione vode

$QPR(I)$ – količina prelivne vode

Cena m^3 gravitacione vode je:

$$CG(I) = Cg.dgod / \Sigma WG(I) \quad (12)$$

3.3. Izbor optimalne količine gravitacione vode

Izbor optimalne količine gravitacione vode koja se isporučuje, a samim tim i izbor optimalnog prečnika gravitacionog cevovoda, vrši se sabiranjem ukupnih godišnjih troškova gravitacionog i pumpnog snabdevanja i pripadajućeg profita, a zatim izborom količina gravitacione vode za koju su ovi ukupni troškovi minimalni

$$CVgod(I) = Cg.dgod(I) + Cg.dgod(I) + TC(I) \quad (13)$$

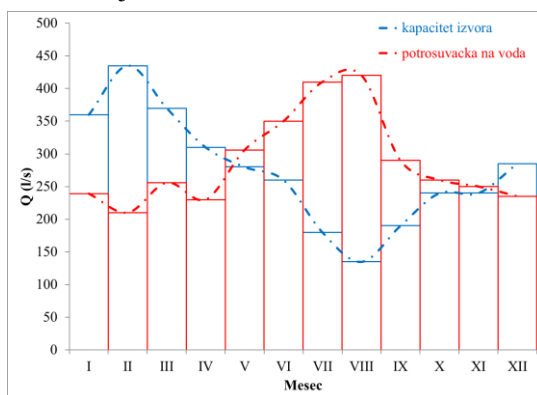
$$QZ = Qopt(Dopt) \text{ каде } Qopt(Dopt) \rightarrow CVgod = (CVgod)min$$

4. Primena matematičkog modela na realan vodovod

Kreirani matematički model je primenjen na realan vodovod – Studija slučaja Vodovod grada Ohrida. Trenutno je sistem za vodosnabdevanje Ohrida potpuno pumpan vodovod sa vodom koja se uzima iz Ohridskog jezera i pumpa do glavnog rezervoara.

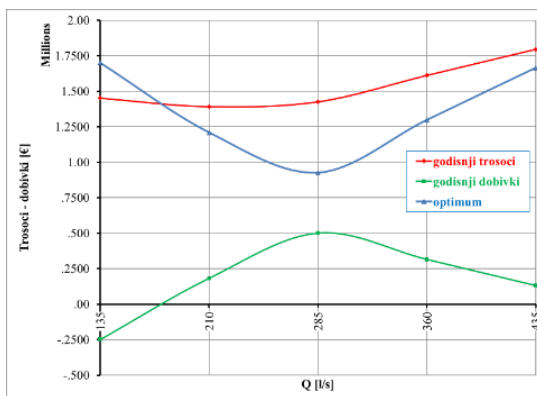
Za ovaj vodovod je karakteristično da postoje velike varijacije u potrebama za vodom tokom godine zbog činjenice da je Ohrid najveće turističko mesto u Makedoniji, pa u normalnim uslovima (bez turista) vodovod opslužuje 50.000 stanovnika, a u letnjem periodu ovaj broj naglo raste, a naglo poskupljenje struje dovelo je do situacije da se javno preduzeće suočava sa visokim troškovima ele-

ktrične energije. Zbog toga se pojavila potreba za dodatnom analizom, kako bi se utvrdile dodatne gravitacione količine vode, koje bi se apsorbirale iz najbližeg gravitacionog izvora koji se nalazi 20 km od Ohrida. Prema konceptu matematičkog modela, prvo su urađene analize za kapacitet izvorišta i potrošnju vode po mesecima, koje su prikazane na sledećoj slici.



Slika 2. Promena kapaciteta izvora i potrošnje vode po mesecima
 Figure 2. Change in source capacity and water consumption by month

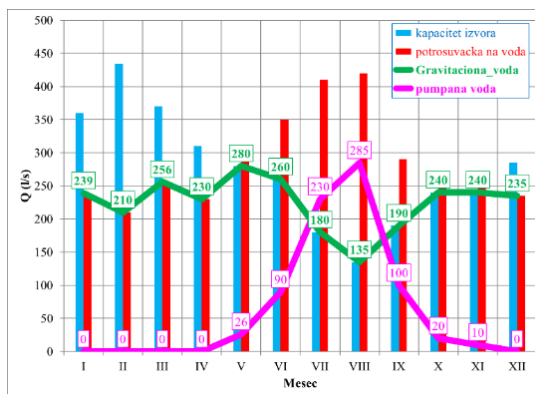
Iz urađenih analiza, koje su prikazane na slici 2, može se zaključiti da kapacitet gravitacionog izvora nije u mogućnosti da pokrije potrebe za vodom tokom svih meseci u godini, te će postojeće pumpno snabdevanje pokrивati razlike od zauzeta gravitacija voda i potrebe za vodom.



Slika 3. Rezultati za izbor optimalne količine gravitacione vode
 Figure 3. Results for choosing the optimal amount of gravity water

Primenom softvera „WATER-OPTIMUM“ dobijeni su rezultati za izbor optimalne količine gravitacione vode od 285 l/s, izlazni rezultati matematičkog modela

su grafički prikazani na sledećoj slici. Dok je na slici 4 prikazana zauzeta količina gravitacione vode po mesecima u zavisnosti od kapaciteta izvorišta i potrošnje vode.



Slika 4. Količina gravitacione vode po mesecima
Figure 4. Amount of gravity water by month

5. Zaključak

U sistemima vodosnabdevanja gde su ulaganja i eksploatacioni troškovi visoki, a posebno današnje cene električne energije, neophodna je tehničko-ekonomska analiza za definisanje geometrijskih karakteristika cevovoda i objekata. Zbog toga je kreiran program „WATER-OPTIMUM“ kojim se na veoma brz i jednostavan način može tačno odrediti optimalna količina gravitacione vode, čime se u fazi izrade projekta lako rešavaju sve dileme koje bi projektant imao u vezi sa dimenzionisanje gravitacionog snabdevanja sa svim potrebnim objektima na njemu. Program takođe može analizirati postojeće sisteme i uticaj cene električne energije na njihovo optimalno upravljanje.

6. Literatura

- [1] Sharma A. K. and Swamee, P. K, *Cost considerations and general principles in the optimal design of water distribution systems*, 2006.
- [2] Donald G. Newnan, Ted G. Eschenbach and Jerome P. Lavelle, *Engineering Economic Analysis*. 2004.
- [3] Syed R. Qasim, Edward M. Motley & Guang Zhu, *Water Works Engineering (Planning, Design & Operation)*, 2000.
- [4] Lijie Cui, *Optimization of Urban Water Supply Headwork's*, 2003.

УГРАДЊА ПУМПЕ ПИТКЕ ВОДЕ НА ВОДОЗАХВАТУ И ДОБИЈЕНА ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ

INSTALLATION OF A POTABLE WATER PUMP AT THE WATER INTAKE AND THE OBTAINED ENERGY EFFICIENCY

ЖЕЉКО РАЉИЋ¹
ДЕЈАН РАЧИЋ²

Стручни рад
DOI: 10.5937/VIK24243R

Резиме: Уградњом пумпе питке воде на водозахвату већег капацитета од првобитно пројектованог, доноси изазове у виду оптимизације са већ постојећим системом. У првом реду потребно је линијске губитке у потисном цјевоводу свести на најмању могућу мјеру. Прорачунима смо дошли до корекције пречника припадајућих вентила и спојева у колекторском цјевоводу и на тај начин су искориштени високи степени корисности пумпног агрегата. На наведени начин, задржана је енергетска ефикасност уграђеног уређаја. Изазови су били у организацији и припремним радовима, како би застоји постројења били минимални.

Кључне речи: водозахват, пумпа, ефикасност

Abstract: Installing a potable water pump on a water intake with a larger capacity than originally designed, it brings challenges in the form of optimization with an already existing system. First of all, it is necessary to minimize the line losses in the pressure pipeline. Through calculations, we came to the correction of the diameter of the associated valves and connections to the collector pipeline, and in this way the high degree of usefulness of the pump aggregate was used. The energy efficiency of the built-in device is maintained. The challenges were in the organization and preparatory works, in order to minimize plant downtime.

Key Words: water pump, water intake, energy efficiency

¹ Жељко Раљић, XX Куљанска 7, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина, ra.zeljko@gmail.com, ORCID: 0009-0002-9203-8606

² Дејан Рачић, Водовод АД Бања Лука, Марије Бурсаћ 4, Република Српска, Босна и Херцеговина, dejan.racic@vodovod-bl.com, ORCID: 0009-0006-7627-8246

1. Фабрика за прераду воде

1.1. Опис

Изворишни капацитети се налазе у подручју Новоселије, на ријеци Врбас 6 km узводно од Бање Луке. Захват површинске воде узима се из водотока ријеке (слика 1). „Сирова вода“ се црпи путем водозахвата „В 3“ на десној обали Врбаса у профилу узводно од експлоатационог подручја подземне издани.

Садашњи концепт постројења у Новоселији за добијање питке воде се састоји из:

а) Бунарског система путем инфилтрационих базена капацитета 300 - 400 l/sec. Систем је потпомогнут уз вјештачки обogaћене подземне издани, копаних и бушених бунара. Од 10 бунара 8 је у функцији.

б) Садашње конвенционално постројење ради од 1977. године. Просјечна годишња производња воде за пиће на изворишту Новоселија износи око $30 \times 10^6 \text{ m}^3$. Капацитет постројења у I фази био је 600 l/sec, а након његове реконструкције у II фази повећан је за додатних 400 l/sec.



Слика 1. Водозахват са пумпном станицом сирове воде
Figure 1. Water intake with raw water pumping station

2. Одабир одговарајућег пумпног агрегата

2.1. Основни појмови и подјела пумпи

Под овим појмом подразумевамо компоненте или уређаје који претварају механички рад у хидростатичку енергију (пумпе) и обратно, које претварају хидростатичку енергију у механички рад (мотори).

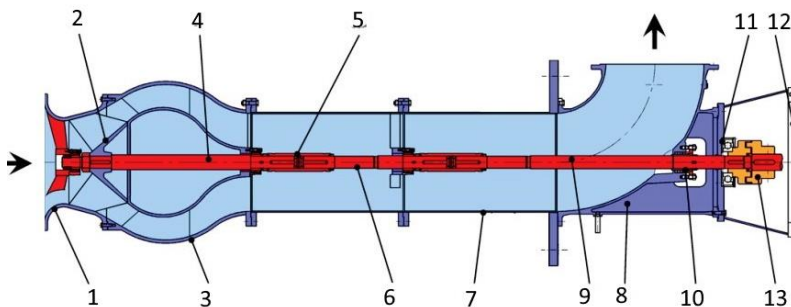
При раду пумпи, енергија добијена од погонских машина претвара се у радном колу у потенцијалну, кинетичку и у незнатној мјери у топлотну енергију тока течности. Улога и намјена пумпи је: подизање течности на задану висину, транспорт флуида на даљину, стварање притиска и одржавање одређеног натпритиска, одсисавање мјешавине течности и ваздуха из затворених посуда и одржавање одређеног потпритиска (вакуум-пумпе). Пумпе транспортују течност која је нестишљива ($\rho = \text{конст.}$)

У стручним литературама више је начина подјеле пумпи. Динамичка машина која је описана у раду је пумпа са ротирајућим елементима, у нашем случају се ради о пумпи са крилцима (лопатицама). Често се у литератури користи подјела пумпи на динамичке и запреминске. Код динамичких пумпи предаја енергије се врши под утицајем сила тј. преко радног кола. Према положаји вратила овдје се ради о пумпи са вертикалним вратилом.

Динамичке машине (пумпе) у зависности од струјања течности у радном колу дијеле се на центрифугалне, завојне и аксијалне, гдје је основни елемент радно коло.

3.2. Аксијалне, динамичке пумпе

Карактеристика аксијалних пумпи је да остварује велике протоке и мале напоре (висину дизања) радног флуида. То су особине које су одлучиле за одабир наведеног типа пумпи.



Слика 2. Шематски приказ аксијалне пумпе: доводна цијев - звоно (1) радно коло (2), дифузор – коло (3), вратило пумпе (4), спојна чахура (5), вратило пумпе (средњи дио) (6), одводна цијев (7), отпустна цијев (8), вратило пумпе (9), заптивка вратила (10), потисни лежај (10), лежиште ел. мотора (12), спојница (13)

Figure 2. Schematic view of an axial pump: supply pipe - bell (1), impeller (2), diffuser - circuit (3), pump shaft (4), connecting sleeve (5), pump shaft (middle part) (6), column pipe (7), discharge pipe (8), pump shaft (9), shaft seal (10), thrust bearing (11), electric motor stool (12), coupling (13)

На слици 2. приказана је шематски аксијална пумпа. Течност долази у радно коло (2) преко доводне цијеви (звона) (1) у осном смјеру. У неким случајевима као доводна цијев служи добро оформљен улазни дио пумпе. Радно коло постављено је на вратило пумпе (4), састоји се од главчине са лопатицама, која су радијално постављене на главчину.

При обртању радног кола усљед узгонског дјеловања лопатица радног кола и течности, повећава се струјна енергија течности која се манифестује порастом притиска и брзине.

По изласку из радног кола течност улази у дифузор – заколо (3). То је непокретан елемент снабдјевен са неколико лопатица и одговарајућом равномјерном просторном површином, која се изводи тако да се обимска компонента апсолутне брзине струјања постепено смањује.

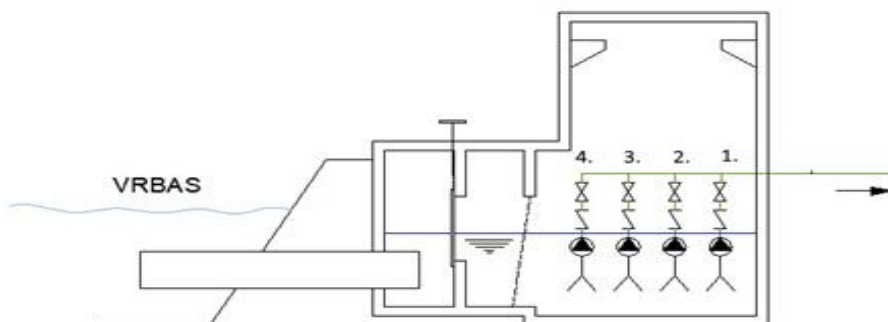
На тај начин брзина струјања кроз заколо опада, тј. кинетичка енергија опада, а на њен рачун расте енергија притисака. Дакле, дифузор (3) претвара кинетичку енергију флуида у енергија притиска.

Након изласка из закола течност струји кроз излазну цијев (7).

4. Уградња пумпе

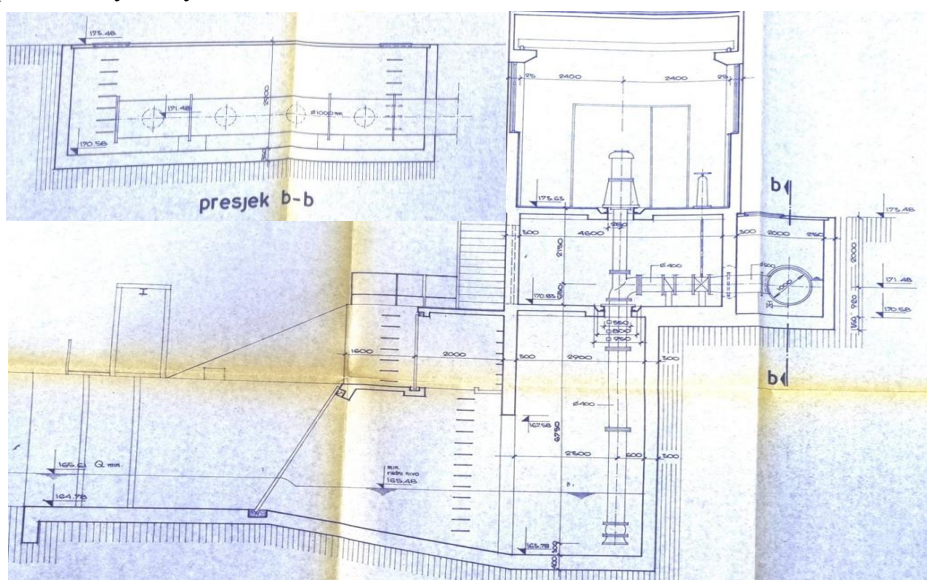
4.1. Затечено стање

На водозахвату сирове воде В-3 (слика 1.) распоред пумпних агрегата је према шеми слике 3. Пумпна станица састоји се од четири пумпе произвођача Литострој, произведених 1975. године и једне пумпе произвођача „Јастребац“ произведене `80-их година.



Слика 3. Водозахват сирове воде са шемом расподеле пумпних агрегата
Figure 3. Water intake of raw water with the distribution scheme of pump aggregates

На слици 4 приказана је шема уграђе пумпе Литострој и начин спајања са колекторским цјевоводом пречника $\varnothing 1000$ mm са потисним цјевоводом из излаза пумпе пречника $\varnothing 400$ mm. На слици је назначена и минимална кота урањања пумпе у „водозахват“.



Слика 4. Водозахват сирове воде са шемом постављене пумпе произвођача Литострој Љубљана и начином упајања у колекторски цјевовод сирове воде (пресјек Б-Б)

Figure 4. Water intake of raw water with a diagram of the pump installed by the manufacturer Litostroj Ljubljana and the method of connection to the collector pipeline of raw water (section B-B)

Техничке карактеристике претходно уграђених пупних агрегата:

Уградно мјесто 1, 2. и 3.

Произвођач пумпе: „Литострој“ Љубљана

Тип пумпе: Ви 4/35

Q: 300-400 l/s

H: 16,5 – 11m,

N:65-60 kW

n:1450 o/min

Уградно мјесто бр. 4.

Произвођач пумпе: „Јастребац“ Ниш

Произвођач мотора: „Р. Кончар“

Тип мотора:4А3 280С-4 В1, IP44

P:75kW, $\cos\varphi=0,87$

n:1475 o/min

Произвођач мотора: „Р. Кончар“

Тип пумпе: 2.35 В3 34
IP44

Q:300 – 350 l/s

H:16,6 -14 m

N:65-60 kW

n: 1450 o/min

Тип мотора:8А3 280С-4Т Б5,

P:75kW, cosφ=0,87

n:1475 o/min

4.2. Прорачун и технички захтјеви при инсталацији пумпе

Усвојена је локација број 1 пумпног агрегата за замјену, као најоптималнија са становишта могућих губитака усљед поремећаја струјања флуида у колекторској цијеви пречника 1.000 mm. Предложена је пумпа протока Q=515 l/s при x=17,5 m са 110 kW у радној тачки Q/H дијаграма. Ефикасност пумпе у радној тачки износи 83% .

Слиједећи корак је рјешавање проблематике локалних губитака због пораста протока са 300 l/s на Q=515 l/s. Из тог разлога су су рађени прорачуни и тражено оптимално рјешење, како са становишта трошкова инвестиције тако и са становишта уштеде енергије. Водећи рачуна о потребном трајању застоја при уградњи и замјени машинских елемената.

4.2.1. Рјешавање проблематике локалних губитака

Анализа губитака у потисном дијелу цјевовода узимајући улазне податке за вриједности протока:

Q = 500 l/s; б) Q = 400 l/s; ц) Q = 350 l/s.

Пречник потисног цјевовода: D = Ø400 mm.

$$\text{Према : } \Delta h = \sum \zeta \frac{v^2}{2g}; \quad (1);$$

Гдје је:

$\sum \zeta = 7,5$ – коеф. лнијских губитака на цјевоводу.

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{4Q}{\pi D^2} = 7,96 Q \text{ – брзина струјања флуида.}$$

$$\Delta h = \sum \zeta \frac{v^2}{2g} = \frac{7,96 Q^2}{2g \cdot 19,62} = 3,23 \cdot Q^2 = 6,1 \text{ m – пад напора у цјевоводу.}$$

$$v = 7,96 Q = 7,96 \cdot 0,5 = 3,98 \text{ m/s.}$$

Према (1) добијамо слиједеће резултате прорачуна приказане у табели 1.

Табела 1. Брзине струјања „ $v(m/s)$ “ и падови напора „ $\Delta h (m)$ “ у цјевоводу за пречник $\varnothing 400 mm$

Table 1. Fluid flow velocities „ $v(m/s)$ “ ties and pressure drops „ $\Delta h (m)$ “ in the pipeline for a diameter of $\varnothing 400 mm$

Q (l/s)	\varnothing (mm)	v(m/s)	Δh (m)
350	400	2,78	2,97
400	400	3,18	3,88
500	400	3,98	6,1

Закључујемо да се са попречном везом $\varnothing 400$ не може постићи добар ефекат уз употребу пумпе протока $Q= 500 l/s$. Из тог разлога је неопходно повећати пречник довода од пумпе до колекторске цијеви пречника $\varnothing 1000$.

Ако направимо упореду анализу са повећањем пречника цјевовода са $\varnothing 400$ на $\varnothing 500$, добићемо слиједеће:

Табела 2. Брзине струјања „ v “ и падови напора „ Δh “ у потисном дијелу цјевовода за упоредне вриједности протока „ Q “ и пречнике цјевовода $\varnothing 400$ и $\varnothing 500$

Table 2. Velocities „ v “ and pressure drops „ Δh “ in the pressure part of the pipeline for comparative flow values „ Q “ and pipeline diameters $\varnothing 400$ and $\varnothing 500$

Q (l/s)	$\varnothing 400$		$\varnothing 500$	
	v (m/s)	Δh (m)	v (m/s)	Δh (m)
350	2,78	2,97	1,78	1,13
400	3,18	3,88	2,04	1,48
500	3,98	6,1	2,54	2,31

Након ових резултата је видљиво да су најприхатљивији губици за $\varnothing 500$, пречника цјевовода. Ако анализирамо за пумпу са капацитетом $Q=515 l/s$ имаћемо:

За:

$$\Sigma \zeta = 7,0$$

Према:

$$\Delta h = \Sigma \zeta \frac{v^2}{2g} = \Delta h = 0,7 \frac{v^2}{19,62} = 0,36 v^2$$

Добијамо слиједеће вриједности (табела 3):

Табела 3. Упоредне вриједности пада напора „ Δh “ и брзине струјања „ v “ за номоналну вриједност протока Q 515 (l/s)

Table 3. Comparative values of effort drop „ Δh “ and flow rate „ v “ for the nominal flow value Q 515 (l/s)

Вр..	Пречник \varnothing (mm)	Пресјек A (m ²)	Проток Q (l/s)	Врзина струјања v (m/s)	Пад напора Δh (m)
1	400	0,13	515	3,96	5,64
2	500	0,20	515	2,55	2,34
3	600	0,28	515	1,84	1,22
4	700	0,39	515	1,32	0,63
5	800	0,50	515	1,03	0,38

Из наведене анализе и прорачуна локалних губитака, закључено је да су најидеалнији услови са становишта губитака, када би вентиле на потису замијенили са профилем ДН 600, ДН 800 и ДН 1000.



Слика 5. Колекторска цијев пречника \varnothing 1000 са прирубничким спојом \varnothing 500
Figure 5. Collector pipe with diameter \varnothing 1000 with flange connection \varnothing 500

Такођер, због жеље и потребе за што је могуће краћим застојем у раду комплетне пумпне станице, није било реално нпр. планирати да се мијењају постојећи прикључци на колектору (слика 7) јер би то проузроковало дуго-трајније застоје у водоснабдијевању што у овом случају није било прихватљиво.

Наравно, најлошији услови се добију за ДН 400 а најбољи за ДН 1.000, али као најоптималније и економски прихватљиво рјешење смо предложили и усвојили ДН 600, и задржали на колектрору ДН 500 те правили потребне редукције као што је видљиво на слици 8.



Слика 6. Спајање излаза инсталиране пумпе са колеторским цијевоводом. На слици су приказани неповратни, зауставни вентили и изграђен конус који редукује пречнике цијеве

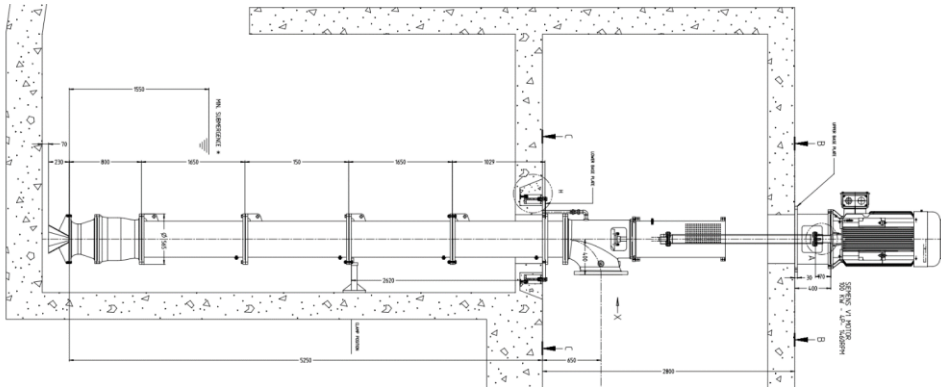
Figure 6. Connecting the output of the installed pump to the collector pipeline. The picture shows non-return, stop valves and a built-in cone that reduces pipe diameters

5. Карактеристике инсталиране пумпе

На слици 7 приказана је шема инсталиране аксијалне цијевне пумпе са лопатицама (пропелером). То је једностепена пумпа, са керамичким лежајевима осовине који поједностаљују одржавање. У двоетажној је изведби, са потисном прирубницом између двије носиве плоче пумпе. Електро мотор пумпе прилагођен за погон фреквентом регулацијом.

Техничке карактеристике инсталиране пумпе:

- Радни медиј: Ријечна вода
- Максимална температура медија: 15,0°C
- Запремински проток: 1854 m³/h
- Висина дизања: 17,5 m
- Ефикасност пумпе: 83%
- Максимална ангажована снага у захтијеваној радној тачки: 112 kW
- Максимална снага мотора: 132 kW
- Минимални пумпани проток: 1440 m³/h
- Максимални пумпани проток: 2500 m³/h
- Висина дизања код минималног протока: 22 m
- Висина дизања код максималног протока: 7 m
- Дужина пумпе од усиса до првог ослонца: 6610 mm
- Дужина између првог и другог ослонца: 2800 mm.



Слика 7. Уграђена пумпа произвођача "KSB"
 Figure 7. Installed pump manufactured by „KSB“.

7. Закључак

Са инсталацијом нове пумпе сирове воде, на уградном мјесту број 1. водозахвата, капацитета 515 l/s, добијено је поуздано водоснабјевање уз неопходан рад са само два од четири инсталирана пумпна агрегата.

Наведени резултат добијен је хидротехничком анализом и захтјевима водовода као крајњег корисника. Проблеми који настају као последица значајног пораста протока у потисном цјевоводу, на крају су успјешно ријешени уз остварене тражене резултате.

8. Литература

- [1] Ристић Б, *Пумпе, компресори и вентилатори*, Научна књига, Београд, 1987.
- [2] Протић З, Недељковић М, *Пумпе и вентилатори*, Машински факултет, Београд, 2021.
- [3] Миловановић З, *Пумпе, компресори и вентилатори*, Машински факултет, Бања Лука, 2021.
- [4] Техничка документација произвођача и упутство за кориштење, *QUALITY DOCUMENTATION and Instruction Manual*, KSB, PUMP TYPE: SNW 400-405.

НЕИНВАЗИВНА САНАЦИЈА ОШТЕЂЕНИХ ЦЕВОВОДА

NONINVASIVE REPAIRS OF DAMAGED PIPELINES

АЛЕКСАНДАР СТОЈАНОВИЋ¹
СЛОБОДАН СТОЈАНОВИЋ²

Стручни рад
DOI: 10.5937/NIK24253S

Резиме: Циљ овог рада је да прикаже примере из праксе неких од сложенијих проблема у водоводним системима, као и начине неинвазивног отклањања истих, на што сликовитији начин, у нади да ће бити од помоћи свима у отклањању истих или сличних проблема, када се са њима сусретну. Рад је превасходно базиран на приказу отклањања разних проблема који настају услед процуривања цеви, као и услед пуцања цеви на различитим дужинама, при чему сва наведена решења имају основни циљ да не дође до искључивања потрошача и да нема сечења цеви.

Кључне речи: неинвазивно, санација, цурење, пуцање, цевовод

Abstract: The aim of this paper is to show examples of more complex problems in water supply systems, as well as the noninvasive methods for overcoming them, in the most graphic way possible, with the hope that it will be of assistance to anyone who encounters same or similar issues. The paper is based on solving of various problems that may occur due to pipe leakages, as well as pipe ruptures of different lengths, while all described solutions have a common main goal to not cut pipes, or leave consumers being cut off from the water supply system at any moment.

Key Words: noninvasive, repair, leakage, rupture, pipeline

1. Процуривање цеви

Мада веома чест и уобичајен проблем за све који се баве одржавањем водоводних система, цурење се лако може претворити у врло сложен проблем када се у случај укључе бројни ограничавајући фактори, попут оних да не сме доћи до искључивања потрошача, тешког приступа месту уградње, старости цевовода, те неопходности да се поправка изврши у што краћем року.

¹ Александар Стојановић, АРМАС, Старих орача 3, Београд, astojanovic@armas.co.rs

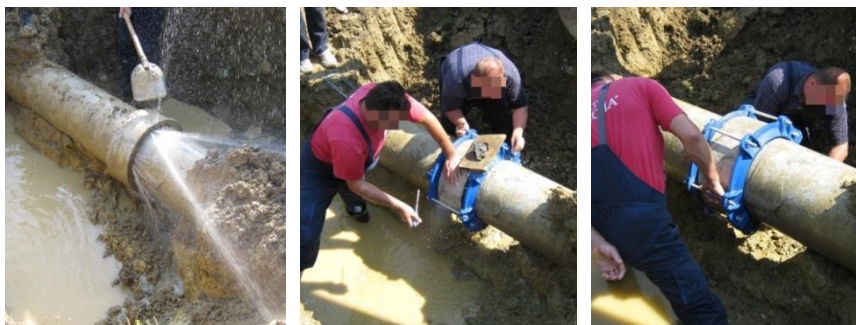
² Слободан Стојановић, АРМАС, Старих орача 3, Београд, sstojanovic@armas.co.rs

1.1. Процуривање на споју цеви

Ово је најчешћи случај процуривања, а услед дотрајалости заптивке, слегања терена или оштећења цеви. Услед већ наведених, ограничавајућих фактора, овај проблем се често зна представити као веома велики. Решење је уградња спојница LINK, којима се без сечења цеви, искључивања потрошача или смањења притиска у цевоводу, приликом монтаже, решава проблем.

Спојнице LINK поседују специјално профилисане заптиваче, који, у зависности од тога за коју врсту споја (и цеви) се уграђују, имају различит попречни пресек. Такође, долази и до варијација у тврдоћи заптивача, а према конкретном случају који се решава.

Ови заптивачи могу бити предвиђени за монтажу са обе стране спојнице или само са једне стране, поново у зависности од врсте споја где се уграђују. Основна карактеристика заптивача спојница LINK је да су тако израђени да са повећањем притиска остварују боље заптивање, што је уједно и њихова главна конструктивна предност.



Слика 1. Отклањање цурења на споју цеви DN350 (Водовод Топола, јул 2014)
Figure 1. Leakage repair on DN350 pipe connection (Topola Waterworks, July 2014)

1.2. Процуривање на постојећој спојници

Додатно отежавајућа околност која претвара цурење у често екстреман проблем је када до процуривања дође на постојећој спојници за везу, нпр. „Жибо“ (Gibault), а њу није могуће лако уклонити или се поправка мора извршити у што краћем року па је замена искључена.

Решење за овакав проблем је уградња спојнице LINK-AC-ŽIBO, којом се цурење на постојећој спојници за везу отклања без уклањања спојнице, без сечења цеви и без искључивања потрошача. Ово је омогућено тиме што се монтажа ове нове спојнице, којим се санира цурење, врши преко постојеће спојнице.



Слика 2. Отклањање цурења на постојећој спојници типа „Жибо“ на цевоводу називног пречника DN350 (Водовод Бела Црква, децембар 2016)
 Figure 2. Repairing leakage on existing „Gibault“ type joint on pipeline with nominal diameter DN350 (Bela Crkva Waterworks, December 2016)

2. Пуцање цеви

Пуцање цеви је свакако компликованији проблем од процуривања, а услед услова експлоатације често може бити и екстреман проблем, нарочито за веће пречнике и притиске.

Посебно сложен случај представља пуцање цеви на великим дужинама (око пола метра, у зависности од називног пречника цеви). Додатни проблем представља честа неопходност да се не искључују потрошачи приликом поправке или да искључење буде што краће, што захтева брзу и сигурну монтажу.

2.1. Пуцање цеви на мањим дужинама

Представља најлакши (мада не нужно и лак) пример пуцања за поправку. Брзо се и лако решава уградњом спојнице EXTRA на месту на ком је дошло до пуцања цеви, без искључивања воде и без сечења цеви. Спојница покрива целокупну дужину цеви која је погођена хаваријом.



Слика 3. Санација пуцања цеви DN350 (Водовод Топола, фебруар 2013)
 Figure 3. Repairing rupture of DN350 pipe (Topola Waterworks, February 2013)

Заптивачи спојница EXTRA се разликују у свом профилу (али и тврдоћи) од оних који се користе код спојница LINK. Наведено је узроковано и другачијом конструкцијом притезних елемената, а услед посебних захтева које је потребно да спојница EXTRA реши, уз пар додатних предности које тиме остварује, попут могућности ове спојнице да покрије несаосност и да прихвати угаоно одступање делова цеви које се спајају, што је веома битно будући да до наведених проблема најчешће долази приликом пуцања цеви.

2.2. Пуцање цеви на већим дужинама

Представља знатно компликованији случај за санацију, нарочито ако до пуцања дође под углом или је хаварија на великом пречнику. Уградњом спојнице LONG EXTRA се решавају наведени проблеми и њом се, без сечења цеви и искључивања потрошача, врше поправке цеви услед пуцања на дужинама 300-500 mm (у зависности од називног пречника цеви). И овде је омогућено санирање несаосности и угаоног одступања делова оштећене цеви.



Слика 4. Санација пуцања цеви DN400 (Водовод Бела Црква, септембар 2017)
Figure 4. Repairing DN400 pipe rupture (Bela Crkva Waterworks, September 2017)

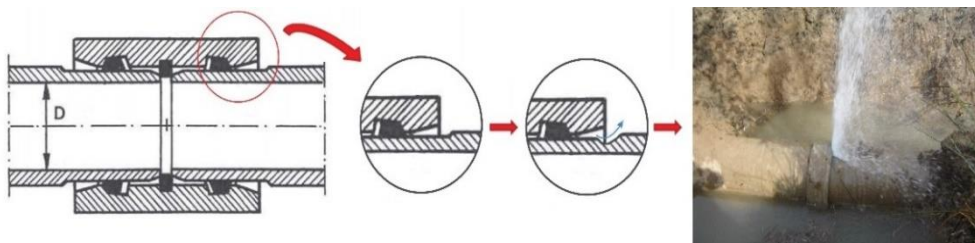
3. Оштећење цеви услед проблема на споју цеви

Сасвим сигурно најсложенији случај оштећења цеви је када дође до оштећења цеви непосредно уз постојећу спојницу за везу (Далма, Витлак, Жибо, Бето), на спојници или на самом споју цеви (нпр. наглавак). У оваквим случајевима је изузетно тешко извршити поправку, нарочито ако постоји услов да не дође до искључивања потрошача, тј. сечења цеви. Решење за наведене проблеме је уградња спојница LONG EXTRA SPECIAL или LONG EXTRA ULTRA, у зависности од тога да ли су спојене цеви истог називног пречника или нису, односно да ли су им спољашњи пречници исте димензије. Веома битна околност је и каква је врста споја на ком се врши отклањање проблема, као и

на којој дужини је потребно отклонити проблем. Идеја коришћења ових спојница је да се употребом једне спојнице квар отклони тако што се преко читаве постојеће везе (споја) цеви поставља једна спојница.

3.1. Оштећење постојеће спојнице за везу

Када, услед дуготрајног процуривања на месту споја цеви и спојнице за везу, дође до оштећења спојнице или цеви, тада настаје изразито сложени проблем процуривања на споју (који се не може решити LINK спојницом).



Слика 5. Шематски приказ оштећења цеви уз спојницу и приказ истог у пракси

Figure 5. Schematic of pipe damage at the joint and live view of the same

Да би спречило сечење цеви и/или спојнице за везу, неопходно је једном спојницом LONG EXTRA SPECIAL обухватити целу везу и на тај начин санирати оштећење, притом без сечења цеви и без искључивање потрошача, при пуним радним условима ценовода. Највећи проблем при оваквом отклањању оштећења представља неопходност поузданог заптивања на великој дужини спојнице којом се санација врши, будући да таква спојница може бити веома велике дужине (и до 1,5 m), а у зависности од саме природе проблема који се решава и затечене дужине оштећења на ценоводу.



Слика 6. Санација оштећења цеви DN500 уз спојницу (Водовод Зајечар, мај 2015)

Figure 6. Repairing DN500 pipe damage at the joint (Zaječar Waterworks, May 2015)

3.2. Оштећење на споју цеви

Када услед било ког разлога на месту споја две цеви дође до оштећења на споју цеви - наглавку, неопходно је спојницом обухватити цео спој две цеви, како би се избегло сечење цеви и искључивање потрошача.

На слици 7 приказан је случај када се на споју две бетонске цеви (наглавку) појавио отвор и било је неопходно да се преко целог споја монтира спојница LONG EXTRA SPECIAL, како би се отклонило оштећење без сечења цеви, што је код бетонских цеви нарочито велики проблем који је увек најбоље избећи.



Слика 7. Санација оштећења цеви DN600 на споју (Водовод Крушевац, март 2019)

Figure 7. Repairing DN600 pipe on pipe connection (Kruševac Waterworks, March 2019)

3.3. Оштећење постојеће спојнице за везу, када цеви нису истог пречника

Када услед дуготрајног процуривања на месту споја цеви и спојнице за везу две цеви дође до оштећења спојнице, неопходно је новом спојницом обухватити целу везу и на тај начин отклонити даље процуривање како би се избегло сечење цеви и искључивање потрошача.

Проблем се изразито усложњава када цеви у споју нису истог спољашњег пречника. У оваквим случајевима монтира се LONG EXTRA ULTRA спојница, која покрива велике разлике у пречницима спојених цеви, захваљујући својим конструктивним особинама.

Ова спојница је тако конципирана да прихвати разлику у пречницима цеви које спаја и аксијално уравнотежи силу која настаје услед деловања воде на различите површине, тј. величине попречног пресека.



Слика 8. Санација оштећења цеви DN700 (Водовод Зрењанин, септембар 2019)

Figure 8. Repairing DN700 pipe damage (Zrenjanin Waterworks, September 2019)

3.4. Оштећење на споју цеви, када цеви нису истог пречника

Као изразито компликовани случај оштећења цеви на споју издваја се онај када је због начина уградње, врсте споја или других разлога, неопходно обухватити различите спољашње пречнике повезаних цеви непосредно на месту споја.



Слика 9. Санација оштећења цеви DN600 (Водовод Нови Сад, септембар 2016)

Figure 9. Repairing DN600 pipe damage (Novi Sad Waterworks, September 2016)

У оваквим случајевима се, уместо најчешћег проблема где се мора обухватити велика дужина квара, дешава супротно - спојница мора бити што краћа и што компактнија како би се уклопила у постојеће изведено стање, без уклањања постављених елемента споја, што чини изузетно ограничавајући фактор. Када се на ово надовеже чињеница да су цеви готово сигурно и од различитог материјала, проблем постаје изузетно сложен.

3.5. Оштећење постојеће спојнице за везу, са угаоним одступањем

Најсложенији случај оштећења цеви је када на месту споја постоји већи број елемената за спајање. У таквим случајевима се, поред честих оштећења на самим елементима за спајање, може десити да постоји и угаоно одступање између истих, тј. може доћи до дивергенције правца цевовода на датом месту.

У наведеном примеру постојало је оштећење једне од спојнице за везу и знатно угаоно одступање међу цевима на месту споја. У оваквим случајевима би се најчешће прибегавало сечењу цеви и формирању новог споја, те замени елемената у споју.

Наведено изискује велику количину радова, разнородног материјала за рехабилитацију цевовода, као и увек обавезно искључивање потрошача на, извесно, дужи рок, који се лако може и продужити у случају било какве непредвиђене ситуације при радовима. Неопходно пражњење система пре радова и испирање система након истих, као и често замућење воде до ког долази након поновног пуштања у рад цевовода, су додатно велики проблеми који најчешће настају оваквим (нажалост, за сада, још увек уобичајеним) приступом отклањања оваквог типа проблема.

Уградњом приказаних решења се успешно и ефикасно отклањају и наведени екстремни проблеми на цевоводима, без сечења цеви и без искључивања потрошача приликом монтаже спојница. У конкретном случају наведена велика промена правца цевовода на месту споја је износила преко 11 степени, а монтажу је било потребно извршити при пуним радним условима цевовода, при притиску од 12 бара.

Све наведено довело је до тога да је приказани и успешно решени случај био један од најзахтевнијих са којим се до сада сусретало, али је исти поуздано саниран коришћењем једне уникатне спојнице LONG EXTRA SPECIAL ADAPTER, специјално конструисане спојнице која се састојала из чак десет делова: шест делова тела спојнице и четири притезна дела. Посебан изазов био је обезбедити поуздано заптивање између свих наведених делова, али је и то успешно изведено и наведено решење је обезбедило изузетно брзу санацију веома компликованог проблема, без искључивања воде, без сечења цеви или елемената споја, при пуним радним параметрима цевовода.



Слика 10. Санација оштећења цеви DN350 на споју цеви уз постојећу спојницу применом LONG EXTRA SPECIAL ADAPTER (Водовод Топола, октобар 2019)

Figure 10. Repairing DN350 pipe damage on pipe connection at the existing joint by using LONG EXTRA SPECIAL ADAPTER (Topola Waterworks, October 2019)

4. Закључак

Нада аутора је да је овим радом дат што сликовитији приказ, из праксе, неких од веома сложених и чак екстремних (али ипак не тако ретких) проблема на цевоводима и добру идеју како исте отклонити и поуздано решити када се са њима сусретне приликом експлоатације. Сва наведена решења имају за основни циљ да се санација изврши неинвазивно, тј. без сечења цеви и без искључивања потрошача, користећи само једну спојницу за појединачни проблем, без додатних елемената неопходних при монтажи. У раду није било речи о економским аспектима, тј. потенцијалним уштедама до којих долази применом приказаних производа, као ни о оперативној оптимизацији кориш-

ћењем истих. Сама чињеница да се монтажа свих наведених производа из овог рада врши без сечења цеви и без искључивања потрошача, при пуним радним параметрима цевовода, довољно говори о сигурном, олакшаном и неинвазивном приступу решавања проблема.

5. Литература

- [1] Архива АРМАС - Фотографије са терена
- [2] Архива АРМАС - Извештај извођења „Жежељев мост - DN600“, 2016.
- [3] Архива АРМАС - Студија случаја „Пруга Зајечар“, 2015.

PROCES REHABILITACIJE CIJEVI U VODOVODNIM SISTEMIMA

THE PIPE REHABILITATION PROCESS IN WATER SUPPLY SYSTEMS

GORAN SEKULIĆ¹
MILENA OSTOJIĆ²

Stručni rad
DOI: 10.5937/VIK24263S

Rezime: Vodovodni sistemi predstavljaju ključnu gradsku infrastrukturu koja zahtjeva redovno održavanje i rehabilitaciju kako bi se osigurala efikasna i pouzdana isporuka vode stanovništvu. Ovaj rad pruža pregled procesa rehabilitacije cijevi u vodovodnim sistemima, fokusirajući se na procjenu stanja cijevi, izbor metoda rehabilitacije i njihovim efektima. Naglašava se značaj tačnih tehnika procjene, nakon čega je dat pregled različitih tehnika rehabilitacije koje se često koriste, kao što su beziskopne tehnologije, postavljanje obloga i strukturna obnova cjevovoda. Razmatrane su ekonomske i ekološke prednosti rehabilitacije cijevi, a prikazani su i primjeri kako bi se ilustrovale uspješne primjene.

Ključne reči: vodovodni sistemi, rehabilitacija cjevovoda, beziskopne tehnologije, tehnoeekonomska analiza

Abstract: Water supply systems represent key urban infrastructure that requires regular maintenance and rehabilitation to ensure efficient and reliable water delivery to the population. This paper provides an overview of the pipe rehabilitation processes in water supply systems, focusing on pipe condition assessment, selection of rehabilitation methods, and their effects. The importance of accurate assessment techniques is emphasized, followed by a review of various rehabilitation techniques commonly used, such as trenchless technologies, lining installation, and structural pipeline renewal. The economic and environmental benefits of pipe rehabilitation are discussed, with examples provided to illustrate successful applications.

Key Words: water supply systems, pipeline rehabilitation, trenchless technologies, techno-economic analysis

¹ Goran Sekulić. Univerzitet Crne Gore, Građevinski fakultet, Podgorica, Cetinjski put b.b. Podgorica, Crna Gora, sgoran2000@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0530-4199

² Milena Ostojić. Univerzitet Crne Gore, Građevinski fakultet, Podgorica, Cetinjski put b.b. Podgorica, Crna Gora, milenaostojic95@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6793-3994

1. Uvod

Vodovodni sistemi su od ključnog značaja za isporuku dovoljne količine vode, dovoljno dobrog kvaliteta, krajnjim korisnicima. Međutim, zastarjela vodovodna mreža i njeno propadanje vremenom, mogu dovesti do curenja cijevi, pucanja i smanjenog protoka i pritiska, kao i narušavanja kvaliteta vode u njima. Da bi se riješili ovi problemi, rehabilitacija cijevi se pojavila kao neizbježni i može se reći ključni proces eksploatacije vodovodnih sistema tokom vremena. Posljednjih decenija razvijen je veliki broj metoda za rehabilitaciju cijevi, koje su primjenjivane u skladu sa stanjem i vrstom cjevnog materijala, kao i njihovog koštanja, pošto su evidentirane primjetne razlike u cijeni pojedinih metoda.

Rehabilitacija cijevi igra ključnu ulogu u osiguranju održivosti vodovodnih sistema jer se time smanjuje rizik od curenja, pucanja i samim tim prekida usluge isporuke vode krajnjim potrošačima. Rješavanjem problema kao što su korozija, pukotine i propadanje materijala ponovo se uspostavlja stabilnost cijelog sistema isporuke vode i odlaže potreba za skupim zamjenama cijevi. Iskustva su pokazala da rehabilitacija propalih cijevi može značajno produžiti njihov vek trajanja [1]. Ovo pruža značajne uštede za vodovodna preduzeća jer izborom određenih dijelova distributivne mreže za rehabilitaciju, preduzeća mogu efikasno rasporediti svoje resurse. Smanjeni troškovi iskopavanja, instalacije i potrošnje materijala doprinose ukupnoj isplativosti rehabilitacije cijevi.

Jedna od ključnih potreba rehabilitacije cijevi jeste poboljšanje hidrauličkih performansi u vodovodnim sistemima, koje se vremenom neizostavno mijenjaju tj. smanjuju. Rehabilitovane cijevi pokazuju povećanje kapaciteta protoka i smanjene gubitaka pritiska, jer se rehabilitacijom uklanjaju naslage koje se vremenom stvaraju u cijevima. To dalje vodi i do smanjenja energije koja se koristi za transport vode i sveukupnoj optimizaciji rada vodovodnog sistema [4].

U borbi protiv gubitaka vode u vodovodnim mrežama rehabilitacija cijevi je neizbježni dio procesa jer se prije svega njome rješava curenje i prsline i pore na cjevovodina. Na taj način se takođe ne samo štedi voda, već i smanjuju operativni troškovi povezani sa preradom, pumpanjem i distribucijom vode kroz sistem.

Rehabilitacija cijevi pruža ekološke koristi minimiziranjem uticaja na životnu sredinu koji je povezan sa zamenom cijevi. Rehabilitacijom postojećih cijevi eliminiše se potreba za opsežnim iskopavanjem i građevinskim radovima, smanjujući emisiju ugljenika, potrošnju resursa i poremećaj okoline [4].

2. Procjena stanja cijevi

Procjena stanja cijevi je prvi i ključni korak u procesu rehabilitacije cijevi u vodovodnim sistemima. Tačna procjena omogućava identifikaciju oštećenih cijevi i

pomaže u određivanju najprikladnijih tehnika rehabilitacije. Postoje različite metode procjene stanja cijevi, kao i različite tehnike koje se koriste u tu svrhu.

Tehnike tzv. nedestruktivnog ispitivanja (NDE) široko se koriste za procjenu stanja cijevi bez izazivanja oštećenja infrastrukture. Ove tehnike pružaju vrijedne informacije o unutrašnjem i spoljašnjem stanju cijevi. Akustičko detektovanje curenja podrazumjeva korišćenje senzora za detektovanje i lociranje curenja na osnovu zvuka koji proizvodi voda koja izlazi iz cijevi. Analizom akustičnih signala može se identifikovati prisustvo curenja, omogućavajući pravilan izbor metoda rehabilitacije. Ground Penetration Radar (GPR) koristi elektromagnetne talase za stvaranje podzemnih slika, omogućavajući detekciju defekata i nepravilnosti na cijevima [7] GPR pruža prilično pozdane informacije o lokaciji, dubini i veličini različitih stanja cijevi, kao što su korozija, pukotine ili zaluženja cijevi.

Infracrvena termografija mjeri površinsku temperaturu cijevi kako bi se identifikovale temperature anomalije povezane sa curenjima cijevima, smanjenim profilom, odnosno blokadom ili strukturnim defektima [3] Pomoću termalnih slika, mogu se precizno locirati područja od interesa, olakšavajući donošenje odluka koja dionica treba da bude predmet rehabilitacije. Tehnike merenja debljine zidova cijevi, uključujući ultrazvučno merenje debljine, pomažu u procjeni debljine zidova cijevi koja vremenom može da se promijeni [4]. Identifikovanjem područja sa smanjenom debljinom zidova zbog korozije ili nekog drugog uzroka propadanja, mogu se sprovesti odgovarajuće strategije rehabilitacije.

Destruktivne tehnike procjene podrazumevaju fizički pristup samoj cijevi i detaljno ispitivanje njenog stanja. Iako invazivnije, ove metode pružaju tačnije informacije o unutrašnjem i spoljašnjem stanju cijevi. Iskopavanje i vizuelna inspekcija podrazumevaju iskop rovova i pristup cijevi kako bi se stekao direktan vizuelni uvid u njeno stanje [8]. Na taj način najsigurnije mogu da se uoče problemi kao što su pukotine, korozija, razdvajanje spojeva ili propadanje materijala cijevi. Laboratorijsko testiranje podrazumeva vađenje uzoraka cijevi i podvrgavanje različitim testovima kako bi se procjenio njihov strukturni integritet, hemijski sastav i druga svojstva cijevnog materijala [6]. Na taj način stiče se detaljan uvid u stanje cijevi i pomaže u određivanju najprikladnijeg metoda rehabilitacije Analiza uzoraka cijevi podrazumeva ispitivanje izvađenih uzoraka cijevi pod mikroskopom ili dalje analize kako bi se procjenili faktori kao što su propadanje materijala, mehanizmi korozije ili hemijske interakcije [7].

3. Izbor metoda rehabilitacije

Izbor odgovarajućih metoda rehabilitacije zavisi od različitih faktora, uključujući stanje cijevi, pristupačnost i hidrauličke uslove tečenje u njima [1].

Beziskopne tehnologije, kao što su postavljanje obloga cijevi tzv. metodom „izvrnute čarape“ (CIPP metoda) [5], uvlačenje cijevi manjeg prečnika u cijev koja se sanira [7] i metoda cijepanja postojeće cijevi sa novom cijevi [9], imaju svoje prednosti u smislu minimalnih poremećaja, smanjenog iskopavanja i brže instalacije. Tehnika postavljanja obloge, CIPP metoda, ugradnjom fleksibilne, smolom impregnirane cijevi, koja se uslijed pritiska vode oblikuje po originalnom cjevovodu, pojačava strukturu zidova cijevi i poboljšava njene hidrauličke karakteristike. Metoda uvlačenja cijevi manjeg prečnika, po pravilu od PEHD, primenljiva je na svim materijalima postojećih cijevi i odlikuje je veoma brza instalacija i obnavljanje potpunog strukturnog integriteta propalih cijevi. Isto se odnosi i na primjenu metoda cijepanja starih cijevi sa uvlačenjem nove cijevi u nju [5].

Iskustva sa primjenom rehabilitacije cjevovoda, zadnjih par decenija, pokazuju uglavnom pozitivne rezultate. Obzirom da se pomenute tehnologije razvijaju unazad više od 40 godina, ostvaren je velik napredak u kvalitetu izvršenih radova, a povećan je i broj specijalizovanih kompanija sposobnih da odgovore i najtežim izazovima [5]. Veliki je broj primjera uspješne rehabilitacije cjevovoda ispod glavnih gradskih saobraćajnica kojima prođe i do nekoliko hiljada automobila dnevno, u gusto naseljenim kvartovima, ispod različitih objekata i postrojenja, u zemljištu sa visokim nivoom podzemnih voda, itd.

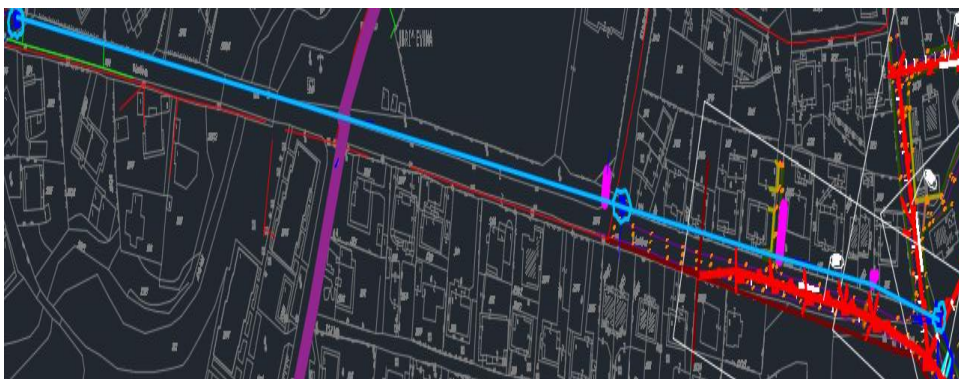
4. Analiza mogućnosti rehabilitacije cjevovoda - primjer

Praksa i može se reći tržište za rehabilitaciju cijevi metodama beziskopnih tehnologija u Evropi i šire pokazuje snažan rast, pri čemu Njemačka, Francuska i Velika Britanija prednjače zbog velike potražnje potrošača. Italija i Španija takođe značajno doprinose, podstaknute tehnološkim napretkom i sve većim ulaganjima [1]. Skandinavske zemlje i zemlje Beneluksa pokazuju stabilan rast, s naglaskom na održivost i inovacije. U Crnoj Gori do sada su poznati samo sporadični slučajevi primjene ovih metoda rehabilitacije (slučaj jedne kratke dionice regionalnog vodovoda crnogorskog primorja) i može se reći da smo tu na samom početku.

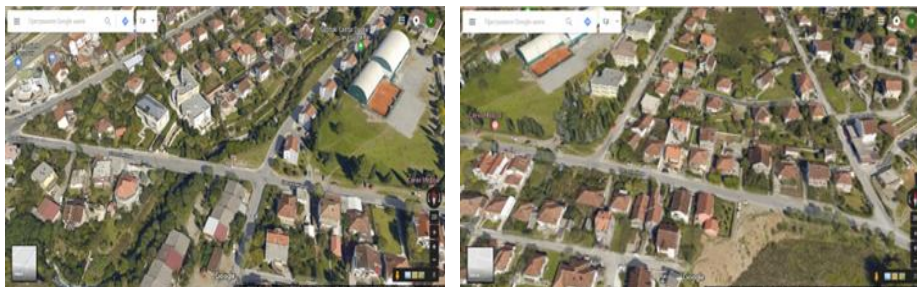
Za potrebe uporedne analize mogućnosti rehabilitacije postojećeg cjevovoda uzet je dio vodovodne mreže naselja Ibričevina u Podgorici. Konkretno u pitanju je azbestcementna vodovodna cijev prečnika 250 mm sa koje se ovaj dio grada snabdijeva vodom i koja prolazi ulicom Goce Delčeva, koja predstavlja najvažniju ulicu u naselju. Cjevovod je star preko 40 godina, u prilično lošem stanju i česti su prekidi u snabdijevanju izazvani tim njegovim stanjem.

Uobičajena praksa vodovodnog preduzeća podrazumjeva klasični pristup rehabilitacije ove dionice cjevovoda koji podrazumjeva iskop cijevi i njenu kompletnu zamjenu. U ovom slučaju pribjeglo se poređenju mogućnosti rehabilitacije

klasičnim pristupom i nekom od pomenutih tzv. bezrovovskih metoda rehabilitacije. Primjer je interesantan i iz razloga što je na njemu moguće sagledati i druge aspekte i troškove odnosno dobiti, obzirom da se iz ulice Goce Delčeva prilazi i osnovnoj školi koju pored djece iz naselja pohada i velik broj đaka iz okolnih naselja. Osim toga dio cjevovoda prolazi ispod dvorišta privatnih kuća.



Slika 1. Dionica cjevovoda vodovodne mreže u ulici Goce Delčeva - Podgorica
Figure 1. Section of the pipeline in the water supply network on Goce Delčeva Street - Podgorica



Slika 2. Snimak lokacije u ulici Goce Delčeva
Figure 2. Location footage on Goce Delčeva Street

Izvršena je analiza koštanja rehabilitacije cjevovoda klasičnim metodom iskopa i metodom pipe-burstinga (uvlačenja cijevi u već postojeću azbest cementnu cijev).

Na osnovu ponuda renomiranih građevinskih firmi, koje rade klasične građevinske i montažne radove, cijena koštanja rehabilitacije pomenute dionice tradicionalnom metodom iznosi oko 150.000 eura. Kompletan posao uz angažovanje opreme i ljudstva bio bi gotov za 40 radnih dana. U cijenu radova nisu ušli troškovi koji bi bili posledica iskopa, kao što je rušenje ograda privatnih objekata koji se nalaze uz ulicu, kao i uzurpacije određenih privatnih parcela tokom izvođenja. Osim

ovih troškova javili bi se i troškovi na sanaciji ulične rasvjete i elektro i telekomunikacione mreže na koju su povezani objekti u ovoj ulici. Procjena je da bi ti troškovi bili u rasponu između 10% i 20% od ukupne cijene radova (15.000,00€ - 30.000,00€). Navedena cijena ne bi uzela u obzir izradu bajpasa koji bi omogućio neometano snabdijevanje električnom energijom domaćinstava u toku izvođenja radova.

Kao alternativa tradicionalnoj metodi na ovom projektu bi mogla biti korištena metoda pipe-burstinga (uvlačenja cijevi u već postojeću azbest cementnu cijev). U sklopu troškova koji su obuhvaćeni cijenom tog projekta uračunata je nabavka materijala, iznajmljivanje mehanizacije, troškovi radova na instalaciji novog cjevovoda kao i ugradnja privremenog bajpasa koji bi omogućio kontinuitet snabdijevanja potrošača vodom koji su povezani na cjevovod, za vrijeme izvođenja radova. Ukupna cijena za ovu metodu bi bila 162.000,00 eura. U ovu cijenu je uračunata i izrada pomenutog bajpas cjevovoda. Kompletan posao bi bio gotov za 30 dana nakon završene mobilizacije (priprema gradilišta, dovoz mašine za uvlačenje cijevi).

Finansijska analiza na ovom primjeru pokazuje da bi konkretan posao izveden bezrovovskom metodom bio skuplji za nekih 12.000 eura. Međutim, ukoliko bi u obzir bili uzeti troškovi nadoknade štete na privatnim objektima, imovini Elektro distribucije i Telekomu dobili bi da je realizacija projekta bezrovovskom metodom jeftinija.

Treba imati u vidu da se visoka cijena radova bezrovovskom metodom dobija zbog toga što u Crnoj Gori ne postoji kompanija specijalizovana za ovu vrstu radova, a troškovi transporta mašine (privremenog uvoza, izvoza) nose veliki procenat u ukupnoj cijeni radova.

U obzir treba uzeti i to da bi u slučaju izvođenja radova tradicionalnom metodom ulica bila zatvorena u toku čitavog perioda trajanja radova, otežan je pristup osnovnoj školi i pristup privatnim objektima stanovništva, čije kuće se nalaze na tom potezu. Neophodno bi bilo obezbjediti prostor za privremeni parking stanovnicima koji bi bili direktno pogođeni izvođenjem radova na ovoj trasi. Primjenom bezrovovske metode za vrijeme trajanja radova u funkciji bi uvijek bila jedna kolovozna traka u ulici, nivo zagađenja okoline (buka i izduvni gasovi) bio bi minimalan i ne bi bilo mogućnosti oštećenja elektro ili kanalizacione instalacije.

5. Komentari i zaključak

Na osnovu analize predstavljene u ovom radu, rehabilitacija cjevovoda pokazuje se kao ključna strategija za održavanje efikasnosti i pouzdanosti vodovodnih sistema. Primjena naprednih tehnika procjene stanja cijevi, kao i izbor odgovarajućih metoda rehabilitacije, doprinosi smanjenju operativnih troškova i minimiziranju ekološkog

uticaja. Iako su tradicionalne metode često ekonomski prihvatljive, bezrovnoske tehnologije nude značajne prednosti u smislu smanjenja poremećaja za lokalnu zajednicu i dugoročne održivosti sistema. Pretpostavka da su savremene tehnologije rehabilitacije cjevovoda bez iskopa rovova preskupe nije tačna. Iako početni troškovi mogu biti viši u nekim slučajevima, ukupne finansijske koristi postaju očigledne kada se uzme u obzir smanjena potreba za radnom snagom, kraći rokovi za završetak projekata i izbegavanje troškova obnove pejzaža.

Konkretna studija slučaja iz Podgorice ukazuje na to da, iako inicijalni troškovi mogu biti viši, bezrovnoske metode predstavljaju ekonomski i operativno povoljniju opciju kada se uzmu u obzir svi faktori, uključujući i socijalne i ekološke aspekte. S obzirom na globalne trendove i potrebu za održivim upravljanjem vodnim resursima, dalji razvoj i primjena ovih tehnologija je neophodan za unapređenje infrastrukture vodovodnih sistema.

6. Literatura

- [1] Annus I, Kändler N, Vaksmann M, Kaur K, Truu M, Koor M, ... Kütt U. Pipeline rehabilitation combined strategy for urban water systems. *Urban Water Journal*, 21(2), 155–167. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2023.2273535>, 2023.
- [2] Apeldoorn S. International society for trenchless technology (ISTT). Comparing the costs – trenchless versus traditional methods. In *International Society for Trenchless Technology Conference*, Australian Society for Trenchless Technology, Sydney, 8, Sydney, Australia, 2010.
- [3] Hongyuan Fang, Bin Li, Fuming Wang, Yuke Wang, Can Cui, The mechanical behaviour of drainage pipeline under traffic load before and after polymer grouting trenchless repairing, *Tunnelling and Underground Space Technology*, Volume 74, Pages 185-194, 2018.
- [4] M. O Engelhardt, P. J Skipworth, D. A Savic, A. J Saul, G. A Walters, Rehabilitation strategies for water distribution networks: a literature review with a UK perspective, *Urban Water*, Volume 2, Issue 2, Pages 153-170, 2000.
- [5] Matthews J. C. Selvakumar A. Condit W. 2012b Demonstration and evaluation of an innovative water main rehabilitation technology: cured-in-place pipe (CIPP) lining. *Water Practice and Technology* 7(2). doi:10.2166/wpt.2012.028, 2012.
- [6] Rogers J. W. Louis G. E. Risk and opportunity in upgrading the US drinking water infrastructure system. *Journal of Environmental Management* 87(1), 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.01.002>, 2008.
- [7] Selvakumar A. Matthews J. C. Condit W. Sterling R. Innovative research program on the renewal of aging water infrastructure systems. *Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA* 64(2), 117–129. doi:10.2166/aqua.2014.103, 2015.

- [8] Woo Seok Chin, Dai Gil Lee, Development of the trenchless rehabilitation process for underground pipes based on RTM, *Composite Structures*, Volume 68, Issue 3, 2005, Pages 267-283,
- [9] Xuefeng Yan, Xuehao Wang, Caiying Deng, Yahong Zhao, Shuang Mei, Jianhui Bai, Baosong Ma, Testing and analysis of CIPP liner under simulated groundwater pressure, *Tunnelling and Underground Space Technology*, Volume 152, 2024,

UPRAVLJANJE VODOVODNIM SISTEMOM U RESTRIKTIVNOM REŽIMU SNABDIJEVANJA

MANAGEMENT OF THE WATER SUPPLY SYSTEM IN THE RESTRICTIVE SUPPLY REGIME

OLIVERA DOKLESTIĆ¹

Stručni rad

DOI: 10.5937/VIK24271D

Rezime: Rad se bavi upravljanjem vodovodnim sistemom u slučaju posebnog vodnog režima kada je značajno smanjena raspoloživa količina vode. U takvim uslovima umanjeње količine vode nužna je izmjena raspodjele vode u pojedinim zonama snabdijevanja, mijenja se funkcionisanje, podiže nivo operacionalizacije. Predmet rada je hercegnovski vodovodni sistem i upravljanje njime u uslovima restriktivnom režima snabdijevanja, koje se permanentno događa zbog smanjenog dotoka vode u sistem.

Ključne reči: vodovodni sistem, Herceg Novi, dotok, restrikcije vode

Abstract: The paper deals with the management of the water supply system in the case of a special water regime when the available amount of water is significantly reduced. In such conditions, a reduction in the amount of water necessitates a change in the distribution of water in certain supply zones, changes in functioning, and raises the level of operationalization. The scope of the work is the water supply system of Herceg Novi Municipality and its management in the conditions of a restrictive supply regime, which occurs permanently due to reduced water inflow into the system.

Key Words: water supply system, Herceg Novi, water inflow, water restriction

1. Predmet rada

Smisao svakog sistema snabdijevanja je obezbijedenje vode za potrošače tokom svih dana u godini, 24 sata dnevno. Kad to ne može da se obezbijedi za sve korisničke kategorije, sistem trpi ozbiljne organizacione i funkcionalne anomalije. Hercegnovski vodovodni sistem ima bitnu karakteristiku koja ga razlikuje od ostalih vodovoda, i to zbog preuzimanja vode iz eksternog vodnog resursa. Raspoloživa go-

¹ Olivera Doklešćić, Ekoboka projekt d.o.o, Kralja Tvrtka 3, Herceg Novi, Crna Gora, ekoboka.rp@gmail.com, ORCID: 0009-0000-5857-0602

odišnja količina vode je između 320 i 550 l/s/dan, u standardnim, normalnim uslovima funkcionisanja, i to je količina iz lokalnog izvorišta Opačica u Kućanskom polju (5÷10% ukupne godišnje zapremine vode u sistemu) i eksterna količina iz HET-a (90÷95%), koja stiže posredno, cjevovodom preko Hrvatske, priključkom na hidrotehnički tunel (dijelom arnirano-betonska cjevna konstrukcija, a dijelom čelični cjevovod, ukupne dužine od 16,6 km, prečnika 6 m i sa proticajem od $Q=90 \text{ m}^3/\text{s}$) koji povezuje HE „Trebinje“ i HE „Dubrovnik“ u Platima. Zbog čišćenja tunela od nakupljenog mulja, nečistoća, kao i zbog saniranja pukotina i oštećenja na njemu, i remonta elektromašinskih postrojenja u dvije elektrane, praksa je da se tunel isprazni jednom godišnje. Obustava se događa u vrijeme sezonskog vodnog minimuma (u akumulaciji Gorica). Period obustave vode je ranije bio i do 20 dana, kada je to bilo u periodu maj-jun, a u posljednje vrijeme je skraćeno na 10-ak dan i događa se u septembru. Obustavljanje dotoka vode za sistem Herceg Novog je činjenica koja podrazumijeva potpunu reorganizaciju upravljanja i funkcionisanja sistemom u kritičnom periodu, tim više jer turistička sezona ili tek počinje ili jenjava ali ipak traje. Taj vremenski period proizvodi sušestveni šok za stanovništvo i turističku privredu, te je nužan ozbiljan pristup sa svim analizama stanja, prije, u toku i nakon kritičnog perioda. U cilju postizanja maksimalnog efekta u radu i minimiziranja nezadovoljstva potrošača upravljanje sistemom u vanrednoj situaciji mora da ima svoj tačno određen plan i dobru koordinaciju svih činilaca sistema.

2. Opšti prikaz stanja

Vodostan na Platima, gdje je priključenje cjevovoda za sistem snabdijevanja Herceg Novog, nalazi se na nadmorskoj visini od 255,20 mnm, a od njega vodi čelični cjevovod DN prečnika 660,4/7 mm kroz Konavojsko polje (Republika Hrvatska), u dužini od 21 km, do prekidne komore na Debelom brijegu, na granici sa Crnom Gorom; odatle je položen cjevovod dužine 6 km istog prečnika do Filter stanice „Mojdež“ (kota uliva AK 160 mnm u postrojenje za prečišćavanje sirove vode). Maksimalna dnevna količina dotoka vode kroz cjevovod varira od 450 do 490 l/s. Izgradnjom ovog cjevovoda prije više od 42 godine riješeno je pitanje snabdijevanja vodom Herceg Novog i postavljena osnova za budući privredni (turistički) razvoj. Hercegovski vodovodni sistem se sastoji od tri visinske zone snabdijevanja, koje prate donekle konfiguraciju terena, i sa 17 rezervoara ukupne zapremine $V=12.370 \text{ m}^3$; po hidrauličkim svojstvima je gravitaciono-potisni, pa još i neravnomjerno razvijen, u fizičkom smislu. Ključna stavka su izuzetno veliki tehnički gubici u sistemu koji odgovaraju procentu od 40% iskoristive vode tokom ljetnje sezone, odnosno svega 25% u vansezonskom periodu.

U periodu prije 2017. godine, postojala je još jedna značajna slabost ovog sistema, a to su još veći tehnički gubici, koji su uzrokovali restriktivan režim

snabdijevanja tokom same ljetnje sezone, u julu i avgustu. Takvo stanje je bilo posljedica neadekvatnog upravljanja sistemom i nepoznavanje ili nezainteresovanost za hidrotehničke parametre. Ubacivanjem dodatnih količina vode iz sistema Regionalnog vodovoda, tokom 2016. i 2017. ublažavao se unekoliko restriktivni režim ka potrošačima. U ljetnjem periodu je bilo na raspolaganju i do 550 l/s, što bi bilo sasvim dovoljno za snabdijevanje svih kategorija potrošača cijela 24 sata, bez obzira što je ukupan dnevni broj potrošača išao i do 80.000. Efektivnost sistema je bila na veoma niskom nivou, pa su se javljali džepovi u snabdijevanju, a cijeli sistem je funkcionisano restriktivno. Promjenom načina upravljanja sistemom, kroz stvaranje baze podataka o kvarovima, intervencijama na mreži, upotrebi materijala, evidencijom učestalosti kvarova itd. i zamjenom oštećenih cjevovoda, započeo je sistematski pristup smanjenja gubitaka i značajan zaokret u unapređenju upravljanja, od jeseni 2017. Može se reći da se postupno uvodio princip *integralnog upravljanja sistemom i njegovim objektima*. Iako četiri godine (2018-2021) nije bilo obustave vode kroz tunel, uvijek je postojala strijepnja da će to ipak da se dogodi kao neminovnost za potrebe HET-a. Najava je stigla u maju 2022. s tim da su se sve tri strane (HE „Trebinje“, HE „Dubrovnik“ i „Vodovod i kanalizacija“ d.o.o. – Herceg Novi) usaglasili termin za septembar, od 5. do 15-og. Tzv. beznaponsko stanje u HE „Trebinje“ planski je odrađeno od 5. do 14. septembra, kada je elektrana bila van raspoloživosti, pa su svi njeni agregati bili van mreže deset dana. Rađen je, ujedno, i remont agregata 1, do 14. septembra. Voda za hercegnovski sistem je obustavljena 4. a puštena u sistem 14. septembra, kako je i dogovoreno.

3. Model funkcionalnog sistema

Status vodovodnog sistema se značajno mijenja i njegovo funkcionisanje treba prilagoditi novim uslovima, a njih čini značajna izmjena ključnih parametara sistema: raspoloživi vodni resursi, količine vode u sistemu (smanjene), pravac toka vode u sistemu (izmjenjen), preraspodjela gravitacionog i potisnog, izdvajanje značajnih ili osjetljivih potrošača (Dom zdravlja, Bolnica, Institut „Dr. Simo Milošević“), minimiziranje posljedica za snabdijevanje hotela, detektovanje džepova u snabdijevanju (zbog nepovoljne konfiguracije terena i rasporeda rezervoara), uspostavljanje režima punjenja i pražnjenja rezervoara, izmjena mobilnosti radnih jedinica na mreži (upravljanje ventilima) itd. Matrica upravo ovih parametara određuje upravljački model koji treba da odgovori na zahtjeve efikasnosti i efektivnosti. Ključne faze u upravljačkom modelu vanrednog stanja, u kritičnom periodu, su:

- Prethodne pripremne aktivnosti unutar sistema i sa velikim potrošačima.
 - Obezbijeđenje dodatnih eksternih količina vode za ubacivanje u sistem (RV „Crnogorsko primorje“ i lokalno izvorište Karasovići u Konavlima)

- Provjera slabih tačaka sistema (Q, v, P).
- Provjera stanja ventila.
- Aktivnosti tokom kritičnog perioda
 - Monitoring dinamike pražnjenja glavnog cjevovoda
 - Monitoring punjenja rezervoara
 - Intenzivirano praćenje kvaliteta vode u sistemu
- Ubacivanje internih količina vode u sistem
- Praćenje funkcionalnih parametara stanja (protok po mjeračima, variranje nivoa vode u rezervoarima, status ventila, isporuka potrošačima, pritisci vode).
- Monitoring po planu distribucije vode potrošačima
- Držanje tačnog vremenskog statusa u isporuci vode potrošačima
- Regulisanje isporuke potrošačima sa specijalnim statusom
- Obezbijedenje vode cisternama za stanovnike u „džepovima“ gdje nije moguća isporuka kroz sistem
- Dinamika punjenja cjevovoda i rezervoara
- Stalno praćenje nivoa vode u bunarima ili u drugim vrstama lokalnih resursa
- Praćenje kvantitativnih i kvalitativnih parametara vode
- Puštanje vode u sistem nakon potpunog zadovoljenja nivoa potrebnog kvaliteta vode (povećana mutnoća, izbistravanje).

U pripremnom periodu (jedan do dva mjeseca ranije) pripremanje velikih potrošača: hotela, aglomeracija za obustavu dotoka sa Plata da bi se reorganizovali, pripremili svoje interne rezervoare za vodu, popravili stajaće kvarove, izvršili kontrolu instalacija itd. Čitav sistem je stavljen pod lupu u cilju uočavanja neuralgičnih tačaka, a naročito djelova sistema sa malim pritiscima i lokacija sa poznatim velikim oštećenjima i gubicima vode.

4. Stanje u sistemu u kritičnom periodu

Pražnjenje hidrotehničkog tunela između dvije hidroelektrane započelo je u 22 časa 4. septembra. Zahvaljujući zapremini u vodostanu „Plat“ i sporom toku vode kroz cjevovod na dionici u Konavlima, voda je još uvijek 5. septembra doticala na FS „Mojdež“.

Dinamika pražnjenja glavnog čeličnog cjevovoda DN 700 mm, kao i puna zapremina svih rezervoara, odrazili su se pozitivno na dotok vode za Herceg Novi, te se nedostatak u sistemu osjetio tek oko 10 časova, drugog dana. Od momenta kada je prestao dotok sa Plata upuštena je voda iz vodoizvorišta Karasovići i to 37,40 l/s,

kako je predstavljeno u tabeli, a sa registrovanjem protoka na mjeracu u 8 h ujutro. Sa istočne strane opštine, podmorskim cjevovodom na Kamenarima prihvaćena je količina vode iz sistema RV-a.

Tabela 1. Ukupne dnevne količine vode koje ulaze u sistem tokom prva tri dana

Table 1. Amount of water entering the system, per day, during the first three days

Datum	Količina sa Plata (l/s)	Količina iz FS „Mojdež“ koja ulazi u sistem (l/s)
04.09.	445,40	404,2
05.09.	242,10	247,2
06.09.	37,40	36,60

Generalno, vodosnabdijevanje u ovom periodu restrikcija od 5-15. septembra 2022. godine bilo je sa manjim periodima obustave vode potrošačima, nego u ranijim periodima, zbog većih količina vode u sistemu, smanjenih gubitaka, ali i veće raspoloživosti vode iz lokalnog izvorišta Opačica.

Tabela 2. Količine vode koje su ušle u sistem Herceg Novog iz sistema RV CG, po danima

Table 2. Amounts of water that entered the Herceg Novi WS system from RV CG, per day

Datum	Stanje na mjeracu protoka (Sv.Neđelja) u 8h	Preuzeta količina vode (m ³)	Prosječan dnevni protok (m ³ /h)	Prosječan dnevni protok (l/s)
05.09.	2,505	4,566	190.3	52.8
06.09.	7,071	3,889	162.0	45.0
07.09.	10,960	3,908	162.8	45.2
08.09.	14,868	3,730	155.4	43.2
09.09.	18,598	3,643	151.8	42.2
10.09.	22,241	3,702	154.3	42.8
11.09.	25,943	3,575	149.0	41.4
12.09.	29,518	3,542	147.6	41.0
13.09.	33,060	3,186	132.8	36.9
14.09.	36,246	3,555	148.1	41.1
15.09.	39,801			

Tabela 3. Ukupne količine vode koje su ušle u sistem u periodu 5-14. septembra
Table 3. Total amount of water that entered the Herceg Novi ws system in period
September 5-14

Datum	PS Opačica		Voda iz Regionalnog Vodovoda		PS Karasovići		UKUPNO	
	Količina (m ³)	Prosječan protok (l/s)	Količina (m ³)	Prosječan protok (l/s)	Količina (m ³)	Prosječan protok (l/s)	Količina (m ³)	Prosječan protok (l/s)
05.09.2022.	13,277	153.7	4,566	52.8	3,228	37.4	21,071	243.9
06.09.2022.	12,477	144.4	3,889	45.0	3,666	42.4	20,032	231.8
07.09.2022.	13,029	150.8	3,908	45.2	3,156	36.5	20,093	232.5
08.09.2022.	12,377	143.3	3,730	43.2	3,262	37.8	19,369	224.3
09.09.2022.	12,699	147.0	3,643	42.2	3,016	34.9	19,358	224.1
10.09.2022.	12,287	142.2	3,702	42.8	3,590	41.6	19,579	226.6
11.09.2022.	12,327	142.7	3,575	41.1	3,194	37.0	19,096	220.8
12.09.2022.	11,914	137.9	3,542	41.0	3,203	37.1	18,659	216.0
13.09.2022.	12,144	140.6	3,186	36.9	3,215	37.2	18,545	214.7
14.09.2022.	11,643	134.8	3,555	41.1	230	2.7	15,428	178.6
Ukupno:	124,174		37,296		29,760		191,230	

U sljedećoj tabeli dat je detaljan pregled ulaska vode u sistem u kritičnom periodu i potrošnja vode po rezervoarima. U tabeli 6. je data tabela komparativnih vrijednosti potrošnje vode po rezervoarima u 2021 (bez obustave vode iz HET-a) i 2022. kada je sistem funkcionisao sa smanjenim količinama vode.

Tabela 4. Količine vode koje su ulazile u sistem u periodu 5-14.09.
Table 4. The amount of water entering in system in period 5-14.09.

Datum	PS Opačica		Voda iz Regionalnog Vodovoda		PS Karasovići		UKUPNO	
	Količina (m ³)	Prosječan protok (l/s)	Količina (m ³)	Prosječan protok (l/s)	Količina (m ³)	Prosječan protok (l/s)	Količina (m ³)	Prosječan protok (l/s)
05.09.22.	13,277	153.7	4,566	52.8	3,228	37.4	21,071	243.9
06.09.22.	12,477	144.4	3,889	45.0	3,666	42.4	20,032	231.8
07.09.22.	13,029	150.8	3,908	45.2	3,156	36.5	20,093	232.5
08.09.22.	12,377	143.3	3,730	43.2	3,262	37.8	19,369	224.3
09.09.22.	12,699	147.0	3,643	42.2	3,016	34.9	19,358	224.1
10.09.22.	12,287	142.2	3,702	42.8	3,590	41.6	19,579	226.6
11.09.22.	12,327	142.7	3,575	41.1	3,194	37.0	19,096	220.8
12.09.22.	11,914	137.9	3,542	41.0	3,203	37.1	18,659	216.0
13.09.22.	12,144	140.6	3,186	36.9	3,215	37.2	18,545	214.7
14.09.22.	11,643	134.8	3,555	41.1	230	2.7	15,428	178.6
Ukupno	124,174		37,296		29,760		191,230	

Tabela 5. Potrošnja vode po rezervoarima u restriktivnom periodu 5-14.09.

Table 5. Water consumption by reservoirs in the restrictive period 5-14.09

	05.11.	06.11.	07.11.	08.11.	09.11.	10.11.	11.11.	12.11.	13.11.	14.11.
Podi	711	657	659	551	576	857	859	526	751	534
Gomila	574	584	698	569	448	558	720	507	513	524
Topla	354	318	364	347	291	298	387	331	313	304
Kula	792	630	608	647	539	584	617	585	628	595
Španjola	795	691	745	642	605	665	634	725	662	584
Savina	775	650	638	643	556	556	613	590	616	643
Bajer 2	1563	1113	1306	1007	1266	1059	1114	998	1091	981
Bajer 1	377	322	343	354	304	301	304	306	310	302
Sušćepan	167	146	278	139	118	123	122	120	142	150
Banjski 1	2067	1650	1870	1718	1751	1723	1704	1678	1658	1744
Banjski 2	980	937	944	963	904	900	918	836	907	855

Tabela 6. Komparativna analiza potrošnje vode po rezervoarima (u m³/dan) u 2021. godini i u restriktivnom periodu septembra 2022.

Table 6. Comparative analysis of water consumption by reservoirs (in m³/day) in 2021 and in the restrictive period of September 2022.

Rezervoar	05. septembar			06. septembar			07. septembar			08. septembar			09. septembar			10. septembar			11. septembar			12. septembar			13. septembar			14. septembar		
	2021.	2022.	Razlika	2021.	2022.	Razlika	2021.	2022.	Razlika	2021.	2022.	Razlika	2021.	2022.	Razlika	2021.	2022.	Razlika	2021.	2022.	Razlika	2021.	2022.	Razlika	2021.	2022.	Razlika	2021.	2022.	Razlika
Podi	975	711	264	1,016	657	359	1,067	659	408	1,027	551	476	1,013	576	437	1,073	857	216	956	859	97	1,045	526	519	1,085	751	334	1,042	534	508
Gomila	1,090	574	516	1,042	584	458	1,045	698	347	1,028	569	459	1,015	448	567	1,016	558	458	1,007	720	287	1,035	507	528	1,014	513	501	1,033	524	509
Topla	617	354	263	625	318	307	631	364	267	629	347	282	618	291	327	606	290	308	612	387	225	632	331	301	595	313	282	594	304	290
Kula	1,527	792	735	1,616	630	986	1,593	608	985	1,580	647	933	1,718	539	1,179	1,550	584	966	1,563	617	946	1,578	585	993	1,569	628	941	1,575	595	980
Španjola	1,761	795	966	1,711	691	1,020	1,757	745	1,012	1,733	642	1,091	1,699	605	1,094	1,733	665	1,068	1,773	634	1,139	1,858	725	1,133	1,962	662	1,300	2,008	584	1,424
Savina	1,289	775	514	1,286	650	636	1,310	638	672	1,293	643	650	1,226	556	670	1,281	556	725	1,264	613	651	1,230	590	640	1,200	616	584	1,214	643	571
Bajer 2	1,030	1,563	-533	1,022	1,113	-91	1,036	1,306	-270	1,047	1,007	40	1,021	1,266	-245	1,044	1,059	-15	1,031	1,114	-83	1,059	998	61	1,040	1,091	-51	1,030	981	49
Bajer 1	437	377	60	461	322	139	453	343	110	448	354	94	426	304	122	427	301	126	419	304	115	448	306	142	441	310	131	433	302	131
Sušćepan	213	167	46	193	146	47	191	278	-87	199	139	60	187	118	69	174	123	51	180	122	58	203	120	83	189	142	47	200	150	50
Banjski 1	1,859	2,067	-208	1,852	1,650	202	1,842	1,870	-28	1,827	1,718	109	1,765	1,751	14	1,710	1,723	-13	1,833	1,704	129	1,790	1,678	112	1,827	1,658	169	1,746	1,744	2
Banjski 2	1,307	980	327	1,464	937	527	1,536	944	592	1,458	963	495	1,367	904	463	1,376	900	476	1,331	918	413	1,416	836	580	1,388	907	481	1,371	855	516

Distribuiranje i raspoređivanje raspoloživih količina vode, generalno gledano, bilo je po sljedećem planu:

- naselja od Sutorine do Savine: od 7:00 do 9:00 h i od 19:00 do 21:00 časova (ali se to produžavalo na pet sati po periodu isporuke, pa su pasovi bezvodnog stanja bili daleko kraći);
- naselja od Meljina do Bijele: od 5:00 do 7:00 i od 17:00 do 19 : 00 časova;
- naselja Bijela i Kamenari kontinuirano vodosnabdijevanje iz RVCG;
- naselje Žvinje (AK iznad 250 mm) je imalo snabdijevanje iz cisterni po potrebi kao i grupacije objekata u „džepovima“ naselja.

Kontinuirano snabdijevanje tokom cijelog kritičnog perioda bilo je u naseljima: Kamenari i Bijela (voda je obezbijedena iz sistema RVCG), za potrošače koji se snabdijevaju iz rezervoara „Sušćepan“, Dom zdravlja i potrošači sa rezervoara „Bajer 1“, Bolnica Meljine (sa rezervoara „Kanli kula“), Stari grad (iz rezervoara „Kanli kula“), Institut „Dr Simo Milošević“ – Igalo, faza II, naselje Njivice.

5. Zaključak

Godina 2022. posebno ljetnji period bio je sa enormno visokim temperaturama. Međutim, blagovremeni rad, tokom zime i proljeća 2022. na smanjenju gubitaka vode u sistemu pripremio je lokalni vodoni resurs Opačica za ljetnju sezonu, da se iz nje crpi manja količina vode te da ostane „očuvana“, tj. sa dovoljnom količinom vode za period maksimalnog iscrpljivanja u periodu restriktivnog snabdijevanja u septembru iste godine. To se uočava u značajno manjim periodima obustave vode u gradu i na periferiji tokom kritičnog perioda 2022, a u poređenju sa stanjem u godinama 2017, 2016. itd. unazad. Rezultati prikazani u ovom radu vezuju se neposredno za radove prikazane u popisu literature istog autora.

6. Literatura

- [1] Doklešćić O, Neke specifičnosti upravljanja vodovodnim sistemima u primorskom regionu, veza sa turističkom privredom, zbornik radova, 50. Konferencija „Voda 2021“, str. 27, Srpsko društvo za zaštitu voda, Zlatibor 2021.
- [2] Doklešćić O, Odnos proizvodnje i potrošnje vode u svijetlu sezonskih fluktuacija u primorskom regionu Crne Gore, Zbornik radova, 49 konferencija „Voda 2020“, str. 29, Srpsko društvo za zaštitu voda, Trebinje 2020.
- [3] Doklešćić O, Gubici vode u hercegovačkom sistemu javnog snabdijevanja (iskustva iz perioda 2018-2022), Zbornik radova II konferencija „Gubici vode u sistemu javnog vodosnabdijevanja“, Savez inženjera i tehničara Srbije, Beograd 2023.

POZITIVNA ISKUSTVA JKP „VODOVOD“ BEZDAN

POSITIVE EXPERIENCES OF PUC WATERWORKS BEZDAN

DEJAN KUBATOV¹

Stručni rad

DOI: 10.5937/VIK24279K

Rezime: U radu je dat pregled istorijata, nastanka i razvoja, Javnog komunalnog preduzeća Bezdán. Dat je pregled većih izvedenih projekata, koji su realizovani u periodu od 2016. godine do danas i koji su znatno unapredili snabdevanje vodom za piće korisnika Javno komunalnog preduzeća „Vodovod“ Bezdán.

Ključne reči: vodovod, tretman vode za piće, cevovod, Bezdán

Abstract: The paper provides an overview of the history, origin and development of the Public Utility Company „Bezdan“. In this paper is also given an overview of the major projects, implemented in the period from 2016 till today, which significantly improved the supply of drinking water to the users of the Public Utility Company „Vodovod“ Bezdán.

Key Words: plumbing, drinking water treatment, pipeline, Bezdán

1. Uvod

Tokom 1984. godine Bezdán, kao relativno ozbiljno privredno mesto u Vojvodini. donosi odluku, opredeljenjem radnih ljudi, stanovnika i radnih organizacija gradskog naselja Bezdán, da se delom kroz tekući samodoprinos, učešće domaćinstava i učešće radnih organizacija finansira I faza Vodovoda Bezdán, izgradnja cevovoda u većem delu naselja i ugradnja pumpi na izvorištu.

II faza izgradnje vodovoda se odnosila na izgradnju postrojenja za preradu vode, koje se sastojalo od sledećih objekata: aeraciona hala, rezervoar za sirovu vodu, filter stanica, crpna stanica, komandni pult, pomoćni objekti (sanitarija i drugo).

Godine 1990, jednoglasnom odlukom, Mesna zajednica Bezdán donosi odluku o osnivanju Komunalnog preduzeća „Vodovod“ Bezdán sa delatnošću: proizvodnja

¹ Dejan Kubatov, JKP „Vodovod“, Somborski put bb, Bezdán, kubatovd@yahoo.com, ORCID: 0009-0006-4191-6076

i distribucija vode, obezbedivši sredstva za rad u iznosu od tadašnjih 200.000 dinara, plus osnovna sredstva, koja su tadašnjom knjigovodstvenom procenom iznosila oko 2,5 miliona dinara. Broj zaposlenih u tom trenutku je bio sedam radnika, od kojih je jedan izvršioc bio u računovodstvu, jedan je bio rukovodilac, a pet radnika su bili na ostalim poslovima održavanje vodovoda.

Dana 30.11.2016. godine održana je 8. sednica Skupštine Grada Sombora na kojoj je doneta Odluka o preuzimanju osnivačkih prava nad KP „Vodovod“ Bezdán (Sl. list grada Sombora br. 27/2016) kao i Odluka o osnivanju javnog komunalnog preduzeća „Vodovod“ Bezdán (Sl. list grada Sombora br. 27/2016) kojom su u cilju regulisanja pravnog statusa postojećeg komunalnog preduzeća KP „Vodovod“ Bezdán, od strane Grada Sombora preuzeta osnivačka prava i obaveze nad Komunalnim preduzećem „Vodovod“ Bezdán, kao i osnovano novo JKP „Vodovod“ Bezdán.

Javno komunalno preduzeće „Vodovod“ Bezdán je javno preduzeće kome se poveravaju poslovi sakupljanja, prečišćavanja i distribucije vode i odvođenja otpadnih voda na teritoriji naseljenih mesta Bezdán, Bački Breg, Bački Monoštor i Kolut. Pretežna delatnost preduzeća je - skupljanje, prečišćavanje i distribucija vode.

JKP „Vodovod“ Bezdán je nakon donošenja navedenih odluka i izvršenog usklađivanja sa Zakonom o javnim preduzećima upisano u registar Agencije za privredne registre pod brojem BD 105521/2016. Pravni naslednik nekadašnjeg preduzeća KP „Vodovod“ Bezdán, je postao JKP „Vodovod“ Bezdán.

Danas, JKP „Vodovod“ Bezdán kao javno preduzeće koje obavlja poslove skupljanja, prečišćavanja i distribucije vode, pruža i niz usluga u sklopu svoje osnovne delatnosti. JKP „Vodovod“ Bezdán ima ukupno 13 radnika, na sledećim radnim mestima: direktor - 1 izvršilac, pravnik - 1 izvršilac, finansijsko i knjigovodstveno radno mesto - 1 izvršilac, Služba naplate - 1 izvršilac, Fabrika vode Bezdán – 5 izvršilaca, ekipa za intervencije - 2 izvršilaca, Fabrika vode Bački Breg – 1 izvršilac, Fabrika vode Bački Monoštor - 1 izvršilac.

2. Aktivnosti na unapređenju rada JKP Bezdán

Od 2016. godine, neposrednim finansiranjem od strane Sekretarijata za vodoprivredu, Grada Sombora i sopstvenih sredstava, direktno i indirektno u JKP „Vodovod“ Bezdán je uloženo preko 1,5 miliona eura u poslove unapređenja rada samog vodovoda. Naime, prethodnih godina rada vodovoda, u kvalitet vode se ili nije apsolutno ništa ulagalo ili se ulagalo veoma malo. Higijenski propisi su vremenom pooštravani u smislu dobijanja kvalitetnije vode za piće, te se moralo pristupiti hitnim aktivnostima u cilju unapređenja gotovog proizvoda.

2.1. Servisiranje Culligan postrojenja u Bezdánu 2017. godine

Servisiranje je obihvatilo izmenu ispune i servisirani su svi ventili.



Slike 1, 2. Pogon u Bezdanu, pre i posle renoviranja
Figure 1, 2. Plant in Bezdan, before and after renovation

2.2. Izgradnja Fabrike vode u Bačkom Bregu 2019. godine

Projekat je podrazumevao izgradnju Postrojenja za pripremu vode za piće i on obuhvata:

- izgradnju rezervoara sirove vode zapremine 30 m³,
- opremanje postojeće filter stanice sa opremom za obradu vode iz bunara do kvaliteta vode za piće, prema Pravilniku o higijenskoj ispravnosti za piće,
- izgradnju rezervoara prečišćene vode zapremine 50m³,
- izgradnju rezervoara vode od pranja filtera zapremine 15 m³,
- potrebne povezne cevovode na postojeću infrastrukturu.

Kapacitet postrojenja:

- kapacitet prerade 25 m³/h (7 l/s)
- vreme rada postrojenja 22 h/d
- maksimalni dnevni kapacitet prerade 22*25= 550 m³/d
- maks. časovna količina vode koja se isporučuje u naselje 50 m³/h (14 l/s)
- maks. dnevna količina vode sa požarom 7,0 l/s + 7,5l/s = 52 m³/h (14.5 l/s)



Slike 3, 4. Fabrika vode Bački Breg
Figure 3, 4. Bački Breg Water Factory



Slika 5, 6. Fabrika vode Bački Breg
Figure 5, 6. Bački Breg Water Factory

2.3. Izgradnja Fabrike vode u Bačkom Monoštoru

Godine 2021. otvorena je Fabrika vode u Bačkom Monoštoru. Naselje Bački Monoštor se snabdeva pijaćom vodom sa postojećeg izvorišta lociranog na katastarskoj parceli 1532 K.O. B. Monoštor.

Objekti vodosnabdevanja se sastoje iz tri bunara, povezanih cevovoda i objekta u kojem je smeštena hidroforska i elektro oprema. Trenutni kapacitet izvorišta je 20 l/s. Prosečna starost stanovništva iznosi 40,1 godina. U naselju ima 1346 domaćinstava, a prosečan broj članova po domaćinstvu je 2,91. Bački Monoštor se vodom za piće snabdeva sa PPV Bački Monoštor. Potrošnja vode je 13,1 l/s.

Postrojenje za pripremu vode za piće naselja Bački Monoštor je projektovano sa sledećim parametrima:

- kapacitet prerade: 47 m³/h
- vreme rada postrojenja: 23 h/dnevno
- maksimalni dnevni kapacitet prerade: 1081 m³/dan
- maks. časovna količina vode koja se isporučuje u naselje 79,2 m³/h
- maks. dnevna količina vode sa požarom 75,4 m³/h

Postrojenje se snabdeva sirovom podzemnom vodom iz bunara koji se nalazi na lokalitetu budućeg postrojenja za tretman vode. Osnovne karakteristike sirove vode na lokaciji su: povišena boja i mutnoća, povećana elektroprovodljivost, povećana koncentracija gvožđa, mangana, amonijaka i arsena i velika tvrdoća vode. U narednim poglavljima biće prikazani izvodi iz analize prečišćane vode Instituta za javno zdravlje Vojvodine.

Tehnološki postupak je dat u tabeli 1.

Tabela 1. Tehnološkog postupak postrojenja u Bačkom Bregu

Table 1. Technological proces of drinking water treatment plant Backi Breg

Red. br.	Tehnološki proces	Broj stepeni procesa	Opis
1	Predhlorisanje / Korektivno hlorisanje	1	Tehnološka oprema za proizvodnju mešovitog dezinfektanta na mestu potrošnje elektrolizom razblaženog vodenog rastvora soli.
2	Filtracija – 1 stepen (UF1 filter)	1	Multimedijalni filter na bazi silikatnog peska i antracita za bistenje vode i uklanjanje boje i mirisa iz vode
3	Filtracija – 2 i 3 stepen (UFP1 i UFP2 filteri)	2	Multimedijalni filter na bazi silikatnog peska, antracita i mangan dioksida za uklanjanje gvožđa i mangana iz vode
4	Doziranje flokulanta	1	Doziranje flokulanta na bazi polielektrolita na ulazu u dekanter
5	Taloženje	1	Saržno (dekantacija).

Sirova voda se predhloriše, čime se vrši primarna dezinfekcija vode i oksidacija gvožđa, mangana i arsena, koji se pri tome prevode u taložni oblik, kao i potpuna oksidacija amonijaka. Doziranje dezinfektanta ispred prvog stepena je balansirano tako da zadovolji potrebe oksidacije i obezbedi rezidual aktivnog hlora na izlazu iz trećeg stepena filtracije, čime se izbegava primarno hlorisanje vode na ulazu u rezervoar čiste vode.

- Predhlorisana voda se vodi na prvi multimedijalni filter čiju ispunu čine silikatni pesak i antracit. Funkcija filtera je bistenje i uklanjanje boje i mirisa iz vode.
- Sa prvog filtera, voda se uvodi na dvostepeni multimedijalni filter (drugi i treći filter) na bazi silikatnog peska, antracita i mangan dioksida. Funkcija filtera je uklanjanje gvožđa i mangana iz vode .
- Fitirana voda se skladišti u rezervoaru čiste vode. Voda na ulazu u rezervoar ima rezidual hlora.
- Na potisu prema potrošačima se vrši korektivno hlorisanje.
- Voda od pranja filtera se transportuje do dekantera. Na ulazu u dekanter dozira se flokulant na bazi polielektrolita.
- Po završetku taloženja, voda se iz dekantera recirkulacijom vraća na ulaz rezervoara sirove vode, dok se talog ispušta u ocedni bazen, koji se nakon delimične prirodne dehidratacije vadi iz ocednog bazena i odvozi na deponiju.

Da bi se vodio tehnološki postupak prerade i kvantitativno pratila potrošnja vode, na sledećim pozicijama su postavljeni protokomeri:

- Na postisu između bunara i rezervoara sirove vode

- Na ulazu u filtersku sekciju (ispred prvog filtera)
- Na potisu prema potrošačima.

Uz pomoć automatike se ostvaruje optimalna proizvodnja mešovitog dezinfektanta. Dobijeni rastvor mešovitog dezinfektanta se uz pomoć membranskih pumpi (38) ubrizgava u cevovod.

Analizator dobija informaciju o koncentraciji hlora i preko pumpi održava zadatu koncentraciju. Na ovaj način je obezbeđena kontinualna proizvodnja mešovitog dezinfektanta sa automatskom kontrolom procesa a takođe i automatsko doziranje i merenje rezidualnog hlora.



Slika 7. Fabrika vode Bački Monoštor
Figure 7. Bački Monoštor Water Factory



Slika 8. Fabrika vode Bački Monoštor
Figure 8. Bački Monoštor Water Factory



Slika 9. Fabrika vode Bački Monoštor
Figure 9. Bački Monoštor Water Factory

Ispitivanje kvaliteta vode vršeno je kod ovlašćenih laboratorija. Kopije delova izveštaja o ispitivanju kvaliteta vode, koja su urađena pre puštanja fabrike vode u rad i posle njenog puštanja u rad, date su na slikama 10 i 11, respektivno.

Rezultati hemijske analize:

Broj protokola: A-02289

Datum završetka analize: 21.8.2019.

Naziv parametra	Rezultat	MDK	Jedinica mere	Oznaka i naziv metode
Miris	Bez	Bez		MH0032 - Određivanje mirisa u vodi *
Boja	Slabo žuta			MH0031 - Određivanje boje u vodi *
Mutnoća	0.33	5.00	NTU	MH0001 - Određivanje mutnoće u vodi
pH	8.1	6.8 - 8.5		MH0002 - Određivanje pH vrednosti u vodi
Ukupni ostatak posle isparenja na 105 °C	888		mg/l	MH0003 - Određivanje ukupnog ostatka posle isparenja na 105°C u vodi
Nitriti	<0.005	0.030	mg/l	MH0004 - Određivanje sadržaja nitrita u vodi
Nitrati	5.1	50.0	mg/l	MH0005 - Određivanje sadržaja nitrata u vodi
Amonijak	0.24	1.00	mg/l	MH0006 - Određivanje sadržaja amonijaka u vodi
Hloridi	154	250	mg/l	MH0007 - Određivanje sadržaja hlorida u vodi
Ukupno gvožđe	<0.05	0.30	mg/l	MH0008 - Određivanje sadržaja gvožđa u vodi
Potrošnja KMnO4	18.4	12.0	mg/l	MH0009 - Određivanje potrošnje KMnO4 u vodi
Električna provodljivost	1342	2500	µS/cm	MH0010 - Određivanje električne provodljivosti u vodi
Arsen	0.086	0.010	mg/l	MH0013 - SRPS ISO 11969:2002

* - Metode ispitivanja su van obima akreditacije laboratorije.

Nalaz: Analizirani uzorak vode NE ODGOVARA propisima Pravilnika o higijenskoj ispravnosti vode za pice Sl. list SRJ br. 42/98, br. 44/99, zbog povećanog utroška KMnO4 i sadržaja arsena.

*Slika 10. Izveštaj o ispitivanju kvaliteta vode 2019.
Figure 10. Report on water quality testing 2019*

Rezultati hemijske analize:

Broj protokola: A-01811/2022

Datum početka analize: 7/6/2022.

Datum završetka analize: 7/11/2022.

Naziv parametra	Rezultat	** Merna nesigurnost	MDK	Jedinica mere	Oznaka i naziv metode
Miris	Bez		Bez		MH0032 - Određivanje mirisa u vodi *
Boja	Bez				MH0031 - Određivanje boje u vodi *
Mutnoća	0.20	± 0.210	5.00	NTU	MH0001 - Određivanje mutnoće u vodi
pH	7.2	± 0.050	6.8 - 8.5		MH0002 - Određivanje pH vrednosti u vodi
Ukupni ostatak posle isparenja na 105 °C	916	± 20.000		mg/l	MH0003 - Određivanje ukupnog ostatka posle isparenja na 105°C u vodi
Nitriti	<0.005	± 0.002	0.030	mg/l	MH0004 - Određivanje sadržaja nitrita u vodi
Nitrati	1.4	± 0.100	50.0	mg/l	MH0005 - Određivanje sadržaja nitrata u vodi
Amonijak	<0.05	± 0.040	1.00	mg/l	MH0006 - Određivanje sadržaja amonijaka u vodi
Hloridi	88	± 2.000	250	mg/l	MH0007 - Određivanje sadržaja hlorida u vodi
Ukupno gvožđe	<0.05	± 0.050	0.30	mg/l	MH0008 - Određivanje sadržaja gvožđa u vodi
Potrošnja KMnO4	9.4	± 0.500	12.0	mg/l	MH0009 - Određivanje potrošnje KMnO4 u vodi
Električna provodljivost	1388	± 12.000	2500	µS/cm	MH0010 - Određivanje električne provodljivosti u vodi
Arsen	0.003		0.010	mg/l	MH0013 - SRPS ISO 11969:2002

* - Metode ispitivanja su van obima akreditacije laboratorije.

** - Merna nesigurnost se izražava kao proširena merna nesigurnost sa 95% verovatnoće pokrivanja i iskazana je na nivou odgovarajućeg MDK. Primenjeno pravilo odlučivanja: hipoteza sigurnog odbijanja rezultata uzimajući u obzir mernu nesigurnost (EUROLAB Technical Report No. 1/2017).

Komentar rezultata: Svi analizirani parametri uzorka vode ODGOVARAJU propisima Pravilnika o higijenskoj ispravnosti vode za pice Sl. list SRJ br. 42/98, br. 44/99.

*Slika 11. Izveštaj o ispitivanju kvaliteta vode 2022.
Figure 11. Report on water quality testing 2022.*

Iz rezultata se može zaključiti da je izgradnja Postrojenja za prečišćavanje vode pokazala dobre rezultate, kao i da svi analizirani parametri uzorka vode odgovaraju propisima Pravilnika, te da prečišćena voda ima kvalitet vode za piće.

2.4. Cevovod od Bezdana do Koluta

Godine 2023. završen je projekat izgradnje poveznog cevovoda od Bezdana do Koluta, u dužini od 4.200 metara. Celokupan posao je odradio JKP „Vodovod“ Bezdana sa sopstvenim mašinama i ljudstvom.

Projekat je finansiran u celosti od Grada Sombora u iznosu od 42 miliona dinara.

- Naselje Kolut je naselje u Republici Srbiji koje administrativno pripada Opštini Sombor, u Zapadnobačkom okrugu. Prema popisu iz 2011. godine naselje broji 1327 stanovnika. Od tog datuma broj stanovnika beleži značajan pad. Osnovna škola broji 60 učenika, a stanovništvo se pretežno bavi poljoprivredom. U naselju se nalazi prvi privatni Zoo vrt koji broji preko 100 životinja.
- Naselje Kolut se snabdeva vodom iz bunara, koji se nalazi u centru naselja. Voda se iz bunara, bunarskim pumpama potiskuje u distributivni sistem preko hidrofora. Distributivna mreža u naselju se sastoji od glavnih magistralnih pravaca i sekundarne mreže. Početkom 2020. godine u naselju je izgrađena dohlorna stanica kojom se poboljšao kvalitet vode. Međutim, i pored novoizgrađene stanice, naselje ima problem sa kvalitetom i količinama vode. Rešenje ovih problema je izgradnja dovodnika kojim će se pijaća voda dovesti iz naselja Bezdana, što je cilj ovog projekta.

Potreban kapacitet vode predstavlja polazni podatak za projektovanje dovodnika od naselja Bezdana do naselja Kolut. On je određen maksimalnom očekivanom potrošnjom konzumnog područja na kom se sistem projektuje. U nastavku su dati osnovni parametri potrebni za proračun kapaciteta:

- Broj stanovnika: $N=1327$ stanovnika
- Specifična potrošnja po stanovniku: $q_{\text{spec}}= 150$ l/st/dan
- Koeficijent dnevne neravnomernosti: $K_d=2,0$
- Koeficijent časovne neravnomernosti: $K_h=2,5$

Maksimalne dnevne i časovne potrošnje vode stanovništva su:

- Srednja dnevna potrošnja: $Q_{\text{sr,dn}} = N * q_{\text{spec}} = 199,05 \text{ m}^3/\text{dan} = 2,30 \text{ l/s}$
- Maksimalna dnevna potrošnja: $Q_{\text{max,dn}} = Q_{\text{sr,dn}} * K_d = 398,10 \text{ m}^3/\text{dan} = 4,61 \text{ l/s}$
- Maksimalna časovna potrošnja: $Q_{\text{max,h}} = Q_{\text{max,dn}} * K_h = 41,47 \text{ l/h} = 11,52 \text{ l/s}$
- Protivpožarna potrošnja: za naselje Kolut merodavan je jedan požar u trajanju od 2 h, a merodavan protivpožarni protok je 10 l/s.



Slika 12. Pumpna stanica Kolut
Figure 12. Pumping station Kolut



Slika 13. Pumpna stanica Kolut
Figure 13. Pumping station Kolut



Slika 14. Pumpna stanica Kolut
Figure 14. Pumping station Kolut

Usvojeno je postrojenje za povišenje pritiska GRUNDFOS HYDRO MPC-E-3 CRIE15-2, proizvodni model 99166908 i ima sledeće karakteristike:

- Max pritisak sistema: 16 bar
- 1 Protok: 12 l/s
- Napor: 20 m pri 87%
- 2 Protok: 14.61 l/s
- Napor: 23.5 m pri 95 %
- Postrojenje radi u režimu 2+1

JKP „Vodovod“ Bezdan, iako sa veoma malim brojem radnika, opstaje na tržištu među velikim vodovodima, isključivo sopstvenom željom za unapređenjem poslovanja i dobrim odnosima sa lokalnom samoupravom i rukovodećim ljudima u Gradu Somboru.

Planova imamo na pretek, za 2024. godinu nam je u planu izgradnja cevovoda prema vikend naseljima Korlatoš, Šebešfok i prema Dunavu, u dužini od skoro 7 (sedam) kilometara, gde bi mogli da snabdevamo brodove sa pijaćom vodom na ulazu u Srbiju. Navedeni projekat planiramo da finansiramo uz pomoć Grada Sombora i sopstvenim sredstvima

2. 5. Projekat cevovoda od Bezdana do Šebešfoka i Korlatoša

Godine 2024. smo započeli veliki projekat izgradnje poveznog cevovoda od Bezdana do vikend naselja Šebešfok i Korlatoš, u dužini od 7.200 metara. Celokupan posao će odraditi JKP „Vodovod“ Bezdana sa sopstvenim mašinama i ljudstvom. Projekat će biti finansiran u celosti od Grada Sombora u iznosu od 48 miliona dinara i sopstvenim sredstvima. Vikend naselja i povezivanje njihovih korisnika, smatramo za prvi deo projekta. Drugi deo projekta se odnosi na dovođenje vode do carinske ispostave na Dunavu, gde je krajnji cilj snabdevanje teretnih i putničkih brodova sa pijaćom vodom. U proseku dnevno prođe do 5 brodova, koji imaju potrebu za pijaćom vodom. Analizom smo utvrdili da se količine kreću od 10 do 50 m³ po brodu.

3. Zaključak

Celokupnom analizom naših vodovoda: Bački Breg, Bački Monoštor i Kolut sa aspekta tehničkog stanja opreme i sistema snabdevanja, kao i na osnovu rezultata vezanih za kvalitet vode za piće, došlo se do zaključka da je u trenutku preuzimanja kvalitet voda bio izvan dozvoljenih granica.

Izgradnjom sistema za pripremu vode i dovodnika vode do Koluta, došlo se do okolnosti u kojima pored dovoljne količine vode, posle višedecenijskog problema imamo i potreban kvalitet vode u skladu sa Zakonom. Naša je zakonska obaveza da učinimo sve da stanovnici naselja u seoskim sredinama, što pre dobiju dovoljno kvalitetne vode za piće i da ostaju na tim prostorima. Iskustvo i rešenja imamo, a potrebno je hitno iznaći kako, kako bi se postigli ciljevi održivog ruralnog razvoja, osigurao ostanak stanovništva na selu i sačuvalo njihovo zdravlje.

4. Literatura

- [1] Kuljančić Đ, *Projekat Objekat PPPV (Postrojenje za prečišćavanje pijaće vode na parceli br. 1532 K.O. B.Monoštor i deo pristupnog puta na parceli br. 2658 K.O. B.Monoštor u Bačkom Monoštoru)*
- [2] Isić M, *Projekat Projekat za građevinsku dozvolu Postrojenje za pripremu vode za piće na kat. par. br. 701 i 932 KO Bački Breg, u Bačkom Bregu*
- [3] Roka A, *Projekat Postrojenje za dezinfekciju pijaće vode u CS Kolut*
- [4] Interna dokumentacija JKP „Vodovod“ Bezdana

САДРЖАЈ ТРАГОВА МЕТАЛА У ФЛАШИРАНИМ ПРИРОДНИМ МИНЕРАЛНИМ ВОДАМА И ВОДИ ЗА ПИЋЕ СА ЧЕСМЕ

TRACE METAL CONTENT IN BOTTLED NATURAL MINERAL WATERS AND TAP WATER

МИРЈАНА НИНКОВИЋ-НИКОЛИЋ¹
БИЉАНА ТОМИЋ ТУЦАКОВИЋ²

Оригинални научни рад
DOI: 10.5937/VIK24289N

Резиме: У овом раду испитиван је садржај изабраних тешких метала у флашираним минералним водама различитих произвођача, газираним и негазираним, из ПЕТ и стаклених амбалажа, као и у води са чесме. Узорци флашираних вода за анализу највише заступљених на српском тржишту узети су у фреквентном маркету у Београду. Анализирани су трагови метала Li, Be, Al, V, Mn, Co, Ni, Cu, Ga, As, Se, Rb, Sc, Mo, Ag, Cd, Sb, Cs, Ba, Tl, Pb, U, Pb, Cr, Zn и Hg. За квантификацију елемената у траговима коришћена је индукована куплована плазма са масеним детектором (ICP-MS) и живин анализатор (DMA). Добијени резултати анализа поређени су са важећим прописима у Србији за флаширане минералне воде и воду за пиће, Директивама Европске уније и препорукама Светске здравствене организације за квалитет воде за пиће. Констатовано је да су сви испитивани узорци флашираних минералних вода из ПЕТ и стаклених амбалажа, као и воде за пиће са чесме, безбедни за употребу са аспекта садржаја трагова тешких метала. Уочен је повећан садржај антимоана у узорцима минералних вода из ПЕТ амбалаже, у односу на стаклену амбалажу, нарочито са порастом температуре и времена.

Кључне речи: флаширане минералне воде, тешки метали, ICP-MS, DMA

Abstract: In this paper the content of selected heavy metals in bottled mineral waters of various producers, both carbonated and noncarbonated, packed in PET and glass bottles, as well as in tap waters were analysed. Popular, good selling bottled waters on the Serbian

¹ Мирјана Нинковић-Николић, ЈКП „Београдски водовод и канализација“, Обреновачки друм 33, Београд, mirjana.ninkovic@bvk.rs, ORCID: 0009-0000-1806-8722

² Биљана Томић Туцаковић, ЈКП „Београдски водовод и канализација“, Обреновачки друм 33, Београд, biljana.tucakovic@bvk.rs, ORCID: 0009-0002-7876-5751

market were collected from a frequent market in Belgrade and analyzed. Traces of metals Li, Be, Al, V, Mn, Co, Ni, Cu, Ga, As, Se, Rb, Sc, Mo, Ag, Cd, Sb, Cs, Ba, Tl, Pb, U, Pb, Cr, Zn, and Hg were analyzed. Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) and mercury analyzer (DMA) were used for quantification of trace elements. The obtained results were compared with current regulations in Serbia for bottled mineral waters and drinking water, European Union Directives and World Health Organization recommendations for drinking water quality. It was found that all examined samples of bottled mineral waters in PET and glass packaging, as well as in tap water, are safe for use in terms of heavy metal trace content. An increased content of antimony was observed in samples of mineral water from PET packaging compared to glass packaging, especially with the increase in temperature and time.

Key Words: Bottled mineral waters, heavy metals, ICP-MS, DMA

1. Увод

Један од најважнијих природних ресурса са аспекта опстанка и функционисања живих организама на земљи су природне минералне воде. У последње време, широм света значајно је порасла потрошња флашираних минералних вода, што се може приписати приступачности овом основном ресурсу, нарочито у срединама где је воде за пиће са чесме упитног квалитета и није безбедна за употребу, као и практичност примене на различитим местима.

Флаширана минерална вода се промовише и као популаран дијететски производ, који на природан и здрав начин хидрира организам и доприноси уносу неопходних есенцијалних нутријената, потребних за правилан раст и развој организма. Све већа употреба флашираних вода захтева утврђивање не само њиховог минералног садржаја, већ пре свега садржаја могућих загађивача. С тим у вези да би природна минерална вода испунила услов прихватљивости, као вода за пиће мора, да испуни одређене захтеве прописане нормама релеватних здравствених институција.

Природне минералне воде, које су ван домашаја људских активности, углавном осликавају геохемију и природну средину кроз коју пролазе [1]. У природи вода егзистира на површини и испод земљине површине и у контакту је са земљиштем и стенама растварајући неорганске и органске материје са њих.

Поред тога хемијски састав природних вода зависи и од фактора који укључују падавине, путању тока воде, климу и топографију [2]. Осим контаминација из природне средине вода може бити секундарно загађена као резултат неправилног транспорта и складиштења. Расте забринутост и због присуства антимона у флашираној води из ПЕТ амбалаже и његовог негативног утицаја на људско здравље. Квалитет флашираних вода зависи од

свих наведених фактора и може значајно да варира представљајући јединствену комбинацију елемената.

Масена спектрометрија са индуковано спрегнутом плазмом (ICP-MS) је аналитичка техника која се користи за детекцију трагова метала. Овом техником се добија комплетна информација о садржају елемената у траговима. Истовремено се анализира више елемената са веома ниском границом детекције.

Због високе осетљивости и тачности, релативно брзе анализе великог броја узорака и ефикасне анализе комплексних матрикса, коришћење ICP-MS се препоручује за анализу трагова метала у води за пиће и отпадним водама [3].

Циљ овог испитивања је било одређивање садржаја одабраних метала у флашираним водама које се најчешће купују у маркетима у Србији. Симултано је анализирано 24 метала (Li, Be, Al, V, Mn, Co, Ni, Cu, Ga, As, Se, Rb, Sr, Mo, Ag, Cd, Sb, Cs, Ba, Tl, Pb, U, Cr, Zn) ICP-MS техником и садржај живе директном анализом на анализатору живе (DMA). Анализирано је 21 различит узорак флашираних вода, газираних и негазираних, из ПЕТ и стаклених амбалажа. Поред флашираних минералних вода анализирана је и вода са чесме из јавног водовода.

2. Материјал и методе

Анализиран је 21 узорак флашираних минералних вода, газираних и негазираних, из ПЕТ и стаклених амбалажа, различитих брендова из Србије и по једном брендом из Словеније и Аустрије. У анализе су уврштена 2 узорка са различитих чесама из јавног водовода. Запремина узорака из ПЕТ амбалаже кретала се у распону од 0,5-0,75 L док су флаширане воде из стаклене амбалаже биле запремине 0,25-0,33 L. Вода из чесама узоркована је у пластичну ПЕ амбалажу запремине 0,5 L.

По допремању узорака у лабораторију, сви газирани узорци су дегазирани на ултразвучном купатилу у трајању 10 мин. Потом је одвојено по 5 mL узорка за анализу трагова живе, а остатак воде за мулти елементарну анализу је закишељен са конц. HNO_3 и HCl . Концентрације киселина у узорцима су биле 1% HNO_3 и 0,5% HCl . Закишељени узорци су анализирани након филтрације кроз мембрански филтер величине пора 0,45 μm .

За симултану анализу трагова 24 метала коришћен је Agilent 7850 ICP-MS, произвођача опреме Agilent Technologies, према методи 17294-2:2023. Анализа живе у траговима одређена је на анализатору Milestone DMA-80 evo, произвођача опреме Milestone, према методи EPA 7473.

3. Rezultati i diskusija

У табели 1. приказане су вредности садржаја параметара квалитета флашираних вода са декларација.

Табела 1. Садржај карактеристичних елемената са - декларација

Table 1. Content of characteristic elements from declarations

Red.b r.	Uzorak		pH	Provodljivost, $\mu\text{S/cm}$	Sadržaj sa deklaracije, mg/l							
					Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	TDS
1	1-PET-ng	Negazirana voda, PET ambalaža plava boja 0,5 L	7,4	541	9,0	2,0	88,0	14,0	329,0	25,0	11,0	350
2	1-STAKLO-ng	Negazirana voda, staklena ambalaža, bez boje 0,33 L	7,3	527	9,0	2,0	88,0	14,0	329,0	25,0	11,0	350
3	1-PET-aromat-ng	Negazirana aromatizovana voda, PET ambalaža bez boje, 0,75 L	3,1	824	9,0	2,0	88,0	14,0	329,0	25,0	11,0	350
4	2-PET-g	Gazirana voda, PET ambalaža zelena boja 0,5 L Slovenija	6,8	12230	1700	/	430	1000	3400	2200	<100	8800
5	3-PET-g	Gazirana voda, PET ambalaža zelene boje 0,5 L	6,1	1577	253,0	17,0	111,0	59,0	1232,0	12,0	9,0	1020
6	3-STAKLO-g	Gazirana voda, staklena ambalaža zelena boja 0,25 L	6,1	1567	253,0	17,0	111,0	59,0	1232,0	12,0	9,0	1020
7	3-PET-aromat-g	Gazirana voda aromatizovana, PET ambalaža zelena boja 0,5 L	4,4	983	/	/	/	/	/	/	/	/
8	4-PET-ng	Negazirana voda, PET ambalaža plava 0,5 L	7,1	2310	118,0	9,0	21,0	343,0	2183,0	<0,1	13,0	1604
9	4-PET-g	Gazirana voda, PET ambalaža zelena boja 0,5 L	6,2	2330	118,0	9,0	21,0	343,0	2183,0	<0,1	13,0	1604
10	5-PET-g	Negazirana voda, PET ambalaža plava boja 0,5 L	7,6	540	118,0	2,0	73,0	39,0	390,0	14,0	<5	290
11	6-PET-ng	Negazirana voda, PET ambalaža bez boje 0,5 L	9,0	226	50,0	1,0	<3	<0,1	80,0	3,0	<5	/
12	7-PET-ng	Negazirana voda, PET ambalaža plava boja 0,5 L	7,9	69,6	3,0	<1	10,0	1,0	43,0	6,0	<1	51
13	7-PET-g	Negazirana voda, PET ambalaža zelena 0,5 L	6,0	1247	53,0	5,0	244,0	18,0	947,0	10,0	17,0	794
14	7-STAKLO-ng	Negazirana voda, staklena ambalaža bez boje 0,33 L	8,5	76,1	3,0	<1	10,0	1,0	43,0	6,0	<1	51
15	8-PET-aromat-g	Gazirana voda aromatizovana, PET ambalaža zelena boja 0,5 L	3,4	854	/	/	/	/	/	/	/	/
16	9-PET-ng	Negazirana voda, PET ambalaža, bez boje 0,5 L	7,4	450	10,5	2,1	75,6	14,9	305,0	7,1	2,1	282
17	9-STAKLO-ng	Negazirana voda, staklena ambalaža, bez boje 0,33 L	7,4	454	8,7	1,2	75,0	15,4	322,7	7,3	2,6	282
18	10-PET-g	Gazirana voda, PET ambalaža plava boja 0,5 L	5,8	1014	184,0	38,0	67,0	51,0	959,0	39,0	17,0	898
19	10-PET-ng	Negazirana voda, PET ambalaža bez boje 0,5 L	7,5	545	55,6	4,3	63,8	35,2	479,0	41,0	4,8	440
20	10-STAKLO-ng	Negazirana voda, staklena ambalaža bez boje 0,25 L	7,5	575	54,2	4,4	64,2	36,9	451,2	39,1	<5	430
21	10-STAKLO-g	Gazirana voda, staklena ambalaža zelena boja 0,25 L	5,8	1005	184,0	38,0	67,0	51,0	959,0	39,0	17,0	898
22	Č1-PE	Česma 1, PE ambalaža bez boje 0,5L	7,3	386	7,6	1,2	63,9	10,9	195,2	32,0	19,8	261
23	Č2-PE	Česma 2, PE ambalaža bez boje 0,5L	7,7	573	17,5	1,8	82,0	23,4	323,3	30,4	29,3	358
Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće Sl.list SRI 42/98 i 44/99 i Sl.glasnik RS 28/2019			6,8-8,5	2500	200	12	200	50	/	250	250	/
Pravilnik o kvalitetu i drugim zahtevima za prirodnu mineralnu vodu, prirodnu izvorsku vodu i stonu vodu Sl. list SGG 53/2005, Sl.glasnik RS 43/2013			6,5-9,5	2500	200	/	/	/	/	250	250	/
EC S.I. No. 225/2007-European Communities (Natural Mineral Waters, Spring Waters and other Waters in Bottles or Containers) Regulations 2007			6,5-9,5	2500	200	/	/	/	/	250	250	/
Preporuke Svetske zdravstvene organizacije WHO 2017			/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

Laboratorijski su izmerene vrednosti pH i provodljivosti nakon otvaraња flaša i dodati u tabelu 1. analiziranim uzorcima izmerene pH vrednosti su se kretale u rasponu od 3,1-9,0. Najniže pH vrednosti su registrovane u aromatizovanim uzorcima. Najviša vrednost je izmerena u uzorku koji spada u alkalnu natrijum hidrogenkarbonatnu grupu voda pod oznakom 6-PET-ng (tabela 1.)

Tabela 2. Rezultati analiza uzoraka voda
Table 2. Results of water sample analysis

R.b	Uzorak	Li	Be	Al	V	Cr	Min	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Se	Rb	Sr	Mo	Ag	Cd	Sb	Cs	Ba	Tl	Pb	U	Hg
1	1-PET-ng Negazirana voda, PET ambulaža, pivna boca 0,5 L	47,5	-0,2	<5	5,8	<0,5	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<1	<0,2	0,3	0,3	4,4	316,7	<0,5	<0,5	<0,2	0,3	2,5	3,8	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1
2	1-STAKI.D-ng Negazirana voda, staklena ambulaža, bezboje 0,33 L	37,9	-0,2	<5	5,7	<0,5	<0,2	0,3	<0,2	<0,5	<1	<0,2	0,4	0,5	3,4	292,9	<0,5	<0,5	<0,2	0,3	1,7	3,2	<0,2	1,0	<0,2	<0,1
3	1-PET-aromat-ng Negazirana aromatizovana voda, PET ambulaža bezboje	200	-0,2	<5	<1	<0,5	5,8	<0,2	<0,2	<0,5	<1	<0,2	0,3	<0,2	33,4	38,5	<0,5	<0,5	<0,2	0,3	1,8	9,3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1
4	2-PET-g Gazirana voda, PET ambulaža zelenka boca 0,5 L, Slovezijska	2827,6	-0,2	<5	<1	<0,5	<0,2	2,5	3,5	<0,5	<1	<0,2	1,9	<0,2	37,9	9271,0	<0,5	<0,5	<0,2	0,4	6,3	11,9	<0,2	8,3	6,2	<0,1
5	3-PET-g Gazirana voda, PET ambulaža zelenka boca 0,5 L	910,5	0,6	<5	<1	<0,5	<0,2	0,3	2,1	<0,5	<1	<0,2	0,9	<0,2	169,0	212,2	<0,5	<0,5	<0,2	0,3	108,7	237,7	0,2	<0,2	0,4	<0,1
6	3-STAKI.D-g Gazirana voda, staklena ambulaža, zelenka boca 0,25 L	839,5	3,7	<5	<1	<0,5	14,3	0,3	2,1	1,3	<1	<0,2	0,8	<0,2	156,9	1155,7	<0,5	<0,5	<0,2	<0,2	104,5	293,7	0,2	0,9	0,5	<0,1
7	3-PET-aromat-g Gazirana voda aromatizovana, PET ambulaža, zelenka boca 0,5 L	666,9	-0,2	T	<1	<0,5	<0,2	<0,2	1,8	<0,5	<1	<0,2	1,8	<0,2	134,6	793,4	<0,5	<0,5	<0,2	0,8	85,5	246,5	<0,2	0,6	0,3	<0,1
8	4-PET-ng Negazirana voda, PET ambulaža, pivna boca 0,5 L	349,0	-0,2	<5	<1	<0,5	44,8	<0,2	8,5	<0,5	<1	<0,2	<0,2	<0,2	46,6	465,0	<0,5	<0,5	<0,2	0,3	23,8	93,9	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1
9	4-PET-g Gazirana voda, PET ambulaža zelenka boca 0,5 L	342,4	-0,2	<5	<1	<0,5	42,6	<0,2	8,9	<0,5	<1	<0,2	<0,2	<0,2	47,5	399,6	<0,5	<0,5	<0,2	0,3	26,1	86,4	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1
10	5-PET-ng Negazirana voda, PET ambulaža, pivna boca 0,5 L	87,7	-0,2	<5	<1	<0,5	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<1	<0,2	1,5	<0,2	6,8	843,2	<0,5	<0,5	<0,2	0,4	10,5	133,6	<0,2	2,2	<0,2	<0,1
11	6-PET-ng Negazirana voda, PET ambulaža, bezboje 0,5 L	1,9	-0,2	<5	9,7	1,0	<0,2	0,3	0,3	<0,5	<1	<0,2	6,4	<0,2	1,2	23,0	<0,5	<0,5	<0,2	0,7	0,9	4,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1
12	7-PET-ng Negazirana voda, PET ambulaža, pivna boca 0,5 L	1,0	-0,2	<5	<1	<0,5	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<1	<0,2	1,7	<0,2	<0,2	41,9	<0,5	<0,5	<0,2	0,3	<0,2	<0,5	<0,2	<0,2	0,5	<0,1
13	7-PET-g Negazirana voda, PET ambulaža, zelenka boca 0,5 L	80,7	-0,2	<5	<1	<0,5	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<1	<0,2	2,7	<0,2	21,4	461,3	<0,5	<0,5	<0,2	0,4	3,8	163,3	<0,2	<0,2	0,5	<0,1
14	7-STAKI.D-ng Gazirana voda aromatizovana, ambulaža, bezboje 0,33 L	0,8	-0,2	<5	<1	<0,5	<0,2	0,5	<0,2	<0,5	<1	<0,2	1,9	0,2	<0,2	43,9	<0,5	<0,5	<0,2	0,3	<0,2	<0,5	<0,2	<0,2	0,5	<0,1
15	8-PET-aromat-g Gazirana voda aromatizovana, PET ambulaža, zelenka boca 0,5 L	409	-0,2	111,3	<1	<0,5	50	0,4	2,0	5	<1	<0,2	0,3	2,1	73,7	529,6	<0,5	<0,5	<0,2	0,2	7,6	24,5	<0,2	<0,2	0,6	<0,1
16	9-PET-ng Negazirana voda, PET ambulaža, bezboje 0,5 L	38,3	-0,2	<5	<1	<0,5	<0,2	0,4	0,3	<0,5	<1	<0,2	9,0	<0,2	5,5	228,0	<0,5	<0,5	<0,2	1,1	10,4	47,2	0,5	1,2	0,3	<0,1
17	9-STAKI.D-ng Negazirana voda, staklena ambulaža, bezboje 0,33 L	64,2	-0,2	<5	<1	<0,5	<0,2	0,4	<0,2	<0,5	<1	<0,2	8,5	<0,2	7,1	217,4	<0,5	<0,5	<0,2	<0,2	12,3	50,0	0,6	1,1	<0,2	<0,1
18	10-PET-g Gazirana voda, PET ambulaža pivna boca 0,5 L	295,9	-0,2	<5	<1	<0,5	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<1	<0,2	1,9	<0,2	159,8	867,9	<0,5	<0,5	<0,2	0,2	34,5	201,8	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1
19	10-PET-ng Negazirana voda, PET ambulaža, bezboje 0,5 L	57,5	-0,2	<5	<1	<0,5	<0,2	0,2	<0,2	<0,5	<1	<0,2	<0,2	<0,2	42,8	768,0	<0,5	<0,5	<0,2	0,2	12,4	66,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1
20	10-STAKI.D-ng Negazirana voda, staklena ambulaža, bezboje 0,25 L	61,9	-0,2	26,5	<1	<0,5	<0,2	0,5	<0,2	<0,5	<1	<0,2	<0,2	<0,2	48,6	674,5	<0,5	<0,5	<0,2	<0,2	13,9	60,1	<0,2	1,6	<0,2	<0,1
21	10-STAKI.O-g Gazirana voda, staklena ambulaža, zelenka boca 0,25 L	273,2	0,5	<5	<1	<0,5	0,6	0,6	<0,2	<0,5	<1	<0,2	<0,2	<0,2	129,4	708,5	<0,5	<0,5	<0,2	<0,2	34,4	201,0	<0,2	2,2	<0,2	<0,1
22	Či+PE Česna 1, PE ambulaža bezboje 0,5 L	3,1	-0,2	69	<1	<0,5	0,7	<0,2	<0,2	1,2	<1	<0,2	0,3	0,2	1,0	141,0	<0,5	<0,5	<0,2	<0,2	<0,2	23,7	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1
23	Čs+PE Česna 2, PE ambulaža bezboje 0,5 L	4,8	-0,2	<5	<1	<0,5	9,8	<0,2	0,2	2,4	<1	<0,2	3,5	<0,2	0,7	318,5	<0,5	<0,5	<0,2	0,5	<0,2	97,8	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1
	Pravilnik higijenske i higijenske vode za piće Slovenija (2018) i (2019) i (2020) i (2021) i (2022) i (2023) i (2024) i (2025) i (2026) i (2027) i (2028) i (2029) i (2030) i (2031) i (2032) i (2033) i (2034) i (2035) i (2036) i (2037) i (2038) i (2039) i (2040) i (2041) i (2042) i (2043) i (2044) i (2045) i (2046) i (2047) i (2048) i (2049) i (2050) i (2051) i (2052) i (2053) i (2054) i (2055) i (2056) i (2057) i (2058) i (2059) i (2060) i (2061) i (2062) i (2063) i (2064) i (2065) i (2066) i (2067) i (2068) i (2069) i (2070) i (2071) i (2072) i (2073) i (2074) i (2075) i (2076) i (2077) i (2078) i (2079) i (2080) i (2081) i (2082) i (2083) i (2084) i (2085) i (2086) i (2087) i (2088) i (2089) i (2090) i (2091) i (2092) i (2093) i (2094) i (2095) i (2096) i (2097) i (2098) i (2099) i (2100) i (2101) i (2102) i (2103) i (2104) i (2105) i (2106) i (2107) i (2108) i (2109) i (2110) i (2111) i (2112) i (2113) i (2114) i (2115) i (2116) i (2117) i (2118) i (2119) i (2120) i (2121) i (2122) i (2123) i (2124) i (2125) i (2126) i (2127) i (2128) i (2129) i (2130) i (2131) i (2132) i (2133) i (2134) i (2135) i (2136) i (2137) i (2138) i (2139) i (2140) i (2141) i (2142) i (2143) i (2144) i (2145) i (2146) i (2147) i (2148) i (2149) i (2150) i (2151) i (2152) i (2153) i (2154) i (2155) i (2156) i (2157) i (2158) i (2159) i (2160) i (2161) i (2162) i (2163) i (2164) i (2165) i (2166) i (2167) i (2168) i (2169) i (2170) i (2171) i (2172) i (2173) i (2174) i (2175) i (2176) i (2177) i (2178) i (2179) i (2180) i (2181) i (2182) i (2183) i (2184) i (2185) i (2186) i (2187) i (2188) i (2189) i (2190) i (2191) i (2192) i (2193) i (2194) i (2195) i (2196) i (2197) i (2198) i (2199) i (2200) i (2201) i (2202) i (2203) i (2204) i (2205) i (2206) i (2207) i (2208) i (2209) i (2210) i (2211) i (2212) i (2213) i (2214) i (2215) i (2216) i (2217) i (2218) i (2219) i (2220) i (2221) i (2222) i (2223) i (2224) i (2225) i (2226) i (2227) i (2228) i (2229) i (2230) i (2231) i (2232) i (2233) i (2234) i (2235) i (2236) i (2237) i (2238) i (2239) i (2240) i (2241) i (2242) i (2243) i (2244) i (2245) i (2246) i (2247) i (2248) i (2249) i (2250) i (2251) i (2252) i (2253) i (2254) i (2255) i (2256) i (2257) i (2258) i (2259) i (2260) i (2261) i (2262) i (2263) i (2264) i (2265) i (2266) i (2267) i (2268) i (2269) i (2270) i (2271) i (2272) i (2273) i (2274) i (2275) i (2276) i (2277) i (2278) i (2279) i (2280) i (2281) i (2282) i (2283) i (2284) i (2285) i (2286) i (2287) i (2288) i (2289) i (2290) i (2291) i (2292) i (2293) i (2294) i (2295) i (2296) i (2297) i (2298) i (2299) i (2300) i (2301) i (2302) i (2303) i (2304) i (2305) i (2306) i (2307) i (2308) i (2309) i (2310) i (2311) i (2312) i (2313) i (2314) i (2315) i (2316) i (2317) i (2318) i (2319) i (2320) i (2321) i (2322) i (2323) i (2324) i (2325) i (2326) i (2327) i (2328) i (2329) i (2330) i (2331) i (2332) i (2333) i (2334) i (2335) i (2336) i (2337) i (2338) i (2339) i (2340) i (2341) i (2342) i (2343) i (2344) i (2345) i (2346) i (2347) i (2348) i (2349) i (2350) i (2351) i (2352) i (2353) i (2354) i (2355) i (2356) i (2357) i (2358) i (2359) i (2360) i (2361) i (2362) i (2363) i (2364) i (2365) i (2366) i (2367) i (2368) i (2369) i (2370) i (2371) i (2372) i (2373) i (2374) i (2375) i (2376) i (2377) i (2378) i (2379) i (2380) i (2381) i (2382) i (2383) i (2384) i (2385) i (2386) i (2387) i (2388) i (2389) i (2390) i (2391) i (2392) i (2393) i (2394) i (2395) i (2396) i (2397) i (2398) i (2399) i (2400) i (2401) i (2402) i (2403) i (2404) i (2405) i (2406) i (2407) i (2408) i (2409) i (2410) i (2411) i (2412) i (2413) i (2414) i (2415) i (2416) i (2417) i (2418) i (2419) i (2420) i (2421) i (2422) i (2423) i (2424) i (2425) i (2426) i (2427) i (2428) i (2429) i (2430) i (2431) i (2432) i (2433) i (2434) i (2435) i (2436) i (2437) i (2438) i (2439) i (2440) i (2441) i (2442) i (2443) i (2444) i (2445) i (2446) i (2447) i (2448) i (2449) i (2450) i (2451) i (2452) i (2453) i (2454) i (2455) i (2456) i (2457) i (2458) i (2459) i (2460) i (2461) i (2462) i (2463) i (2464) i (2465) i (2466) i (2467) i (2468) i (2469) i (2470) i (2471) i (2472) i (2473) i (2474) i (2475) i (2476) i (2477) i (2478) i (2479) i (2480) i (2481) i (2482) i (2483) i (2484) i (2485) i (2486) i (2487) i (2488) i (2489) i (2490) i (2491) i (2492) i (2493) i (2494) i (2495) i (2496) i (2497) i (2498) i (2499) i (2500) i (2501) i (2502) i (2503) i (2504) i (2505) i (2506) i (2507) i (2508) i (2509) i (2510) i (2511) i (2512) i (2513) i (2514) i (2515) i (2516) i (2517) i (2518) i (2519) i (2520) i (2521) i (2522) i (2523) i (2524) i (2525) i (2526) i (2527) i (2528) i (2529) i (2530) i (2531) i (2532) i (2533) i (2534) i (2535) i (2536) i (2537) i (2538) i (2539) i (2540) i (2541) i (2542) i (2543) i (2544) i (2545) i (2546) i (2547) i (2548) i (2549) i (2550) i (2551) i (2552) i (2553) i (2554) i (2555) i (2556) i (2557) i (2558) i (2559) i (2560) i (2561) i (2562) i (2563) i (2564) i (2565) i (2566) i (2567) i (2568) i (2569) i (2570) i (2571) i (2572) i (2573) i (2574) i (2575) i (2576) i (2577) i (2578) i (2579) i (2580) i (2581) i (2582) i (2583) i (2584) i (2585) i (2586) i (2587) i (2588) i (2589) i (2590) i (2591) i (2592) i (2593) i (2594) i (2595) i (2596) i (2597) i (2598) i (2599) i (2600) i (2601) i (2602) i (2603) i (2604) i (2605) i (2606) i (2607) i (2608) i (2609) i (2610) i (2611) i (2612) i (2613) i (2614) i (2615) i (2616) i (2617) i (2618) i (2619) i (2620) i (2621) i (2622) i (2623) i (2624) i (2625) i (2626) i (2627) i (2628) i (2629) i (2630) i (2631) i (2632) i (2633) i (2634) i (2635) i (2636) i (2637) i (2638) i (2639) i (2640) i (2641) i (2642) i (2643) i (2644) i (2645) i (2646) i (2647) i (2648) i (2649) i (2650) i (2651) i (2652) i (2653) i (2654) i (2655) i (2656) i (2657) i (2658) i (2659) i (2660) i (2661) i (2662) i (2663) i (2664) i (2665) i (2666) i (2667) i (2668) i (2669) i (2670) i (2671) i (2672) i (2673) i (2674) i (2675) i (2676) i (2677) i (2678) i (2679) i (2680) i (2681) i (2682) i (2683) i (2684) i (2685) i (2686) i (2687) i (2688) i (2689) i (2690) i (2691) i (2692) i (2693) i (2694) i (2695) i (2696) i (2697) i (2698) i (2699) i (2700) i (2701) i (2702) i (2703) i (2704) i (2705) i (2706) i (2707) i (2708) i (2709) i (2710) i (2711) i (2712) i (2713) i (2714) i (2715) i																									

Проводљивост се кретала у опсегу од 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ за воду са ниским садржајем натријума и минерала до 12230 $\mu\text{S}/\text{cm}$ за минералну воду са високим садржајем магнезијума, сулфата и хидроген карбоната ознаке 2-ПЕТ-г. Садржај натријума је детектован у опсегу од 3 -1700 mg/L , калцијум од 3-430 mg/L , магнезијум од 1-1000 mg/L . Слични резултати испитивања су забележени од стране других аутора [4].

У табели 2. приказани су резултати анализа на одабране метале и у складу са резултатима објављеним од стране других аутора [1], [3], [4], [6,], [8]. Литијум је регистрован у испитиваним узорцима у распону од 0,8-2827 $\mu\text{g}/\text{L}$. У већини узорака садржај литијума се кретао до 100 $\mu\text{g}/\text{L}$, у 4 узорка од 100-1000 $\mu\text{g}/\text{L}$ док је у једном узорку ознаке 2 регистрован веома висок садржај литијума и износио 2827 $\mu\text{g}/\text{L}$ који потиче од високо минерализоване воде из извора минералне воде јединственог геолошког састава. У литератури су документована испитивања позитивног утицаја конзумирања природних минералних воде које садрже литијум на ментално здравље људи [5]. Берилијум је у већини узорака био испод границе детекције од 0,2 $\mu\text{g}/\text{L}$. У једном узорку воде брэнда ознаке 3 из ПЕТ амбалаже зелене боје регистрован је садржај од 0,6 односно 3,7 $\mu\text{g}/\text{L}$ истог брэнда у стакленој амбалажи зелене боје. У још једном узорку ознаке 10 из стаклене зелене боце евидентирано је 0,5 $\mu\text{g}/\text{L}$ берилијума.

Алуминијум је у већини узорака био испод 5 $\mu\text{g}/\text{L}$. У једном узорку ароматизоване газиране воде из ПЕТ амбалаже ознаке 8 забележено је 111 $\mu\text{g}/\text{L}$. У једном негазираном узорку ознаке 10 из стаклене амбалаже измерено је 26 $\mu\text{g}/\text{L}$. У узорку воде са чесме ознаке Ч2 измерено је 69 $\mu\text{g}/\text{L}$ алуминијума, који потиче од коагуланта који се користи у процесу пречишћавања површинске сирове воде. Садржај алуминијума није прописан Правилником који уређује квалитет природних минералних вода, природних изворских и стоних вода.

Ванадијум је регистрован у једном брэнду негазиране воде ознаке 1 у ПЕТ и у стакленој амбалажи, чије вредности су износиле око 6 $\mu\text{g}/\text{L}$ респективно. У још једном брэнду негазиране воде ознаке 6 измерено је око 10 $\mu\text{g}/\text{L}$. Други аутори су у узорцима вода која потичу са истог подручја детектовали сличне концентрације ванадијума [7]. У осталим узорцима није евидентиран ванадијум.

Хром је у свим узорцима био испод границе детекције од 0,5 $\mu\text{g}/\text{L}$ осим у једном узорку негазиране воде из провидне амбалаже ознаке 6 у коме је измерен 1 $\mu\text{g}/\text{L}$. Према регулативама које контролишу квалитет природних минералних вода, изворских и стоних вода садржај хрома је прописан на 50 $\mu\text{g}/\text{L}$. Манган је у већини узорака био испод границе од 0,2 $\mu\text{g}/\text{L}$. У једном

бренду газирани и негазиране воде ознаке 4 измерено је око 45 µg/L, у једном ароматизованом газираном узорку из ПЕТ амбалаже ознаке 8 је измерено 50 µg/L мангана. У узорку пречишћене подземне воде са чесме ознаке Ч2 је измерено 10 µg/L. Уколико садржај мангана премаши 100 µg/L може доћи до проблема са непријатним укусом воде, бојењем санитарнија и веша. Према важећем Правилнику прописана је максимално дозвољена вредност од 50 µg/L. Кобалт се у испитиваним узорцима кретао у распону од 0,2-0,6 µg/L. У једном узорку воде ознаке 2 измерено је 2,5 µg/L.

Садржај никла у распону од 1,8-3,5 µg/L је регистрован у брендovima под ознакама 2,3,6,8,9 газираних и негазираних вода у различитим амбалажама, док је у једном бренду ознаке 4 садржај никла износио 8,9 µg/L. Сличне вредности су регистроване од стране других аутора који су анализирали флаширане воде на нашем тржишту [6]. Никл се сматра токсичним елементом који потенцијално може повећати ризик од рака код људи. Према важећем Правилнику прописана је максимално дозвољена вредност од 20 µg/L.

Бакар је важан микронутријент и у узорцима је евидентиран у ниском садржају код узорака ознака 3 и 8 у концентрацијама 1,3 односно 5 µg/L. Према важећем Правилнику прописана је вредност од 1.000 µg/L. Цинк и галијум нису регистровани у узорцима.

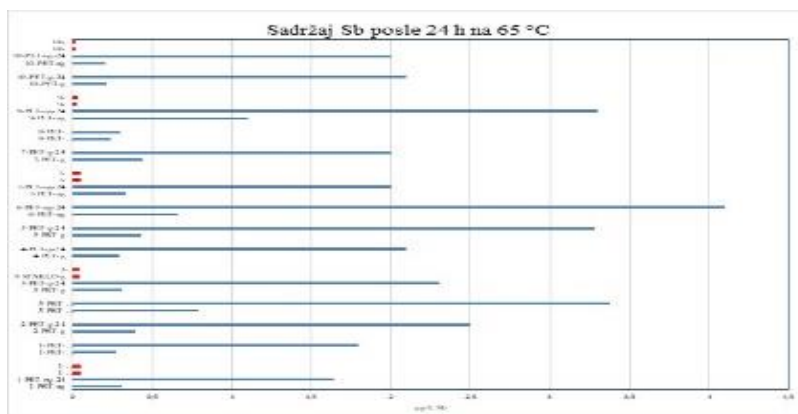
Арсен се у већини узорака кретао у распону од 0,2-2,7 µg/L. У два бренда детектоване су количине од 6,4 µg/L у узорку ознаке 6 у ПЕТ амбалажи, односно 9 µg/L у узорку ознаке 9 и у ПЕТ и стакленој амбалажи, што је у складу са резултатима добијеним од стране других аутора [6]. У једном узорку са чесме измерено је 3,5 µg/L. Арсен се сматра високо токсичним елементом и у важећим регулативама прописан на вредност од 10 µg/L. Измерене вредности арсена ни у једном испитиваном узорку не премашују пропис, један бренд има вредност блиску прописаној вредности и приписује се природном пореклу.

Селен спада у витални елемент за људско здравље важан за функционирање организма. У већини испитиваних узорака селен се кретао у распону од 0,3-0,5 µg/L. У једном узорку ароматизоване газирание воде ознаке 8 је измерено 2,1 µg/L. Према важећем Правилнику прописана је вредност до 10 µg/L. Рубидијум је у већини узорака детектован у опсегу од 1-50 µg/L, у два бренда ознака 3 и 10 у стакленој и ПЕТ амбалажи измерена је количина од 169 односно 159 µg/L.

Стронцијум се у испитиваним узорцима кретао од 23-9.271 µg/L за високо минерализовану воду. Стронцијум је земно алкални метал који нема утицаја на здравље те није прописана максимално дозвољена концентрација. Молибден у испитиваним узорцима није премашио вредност од 0,5 µg/L. Сребро није детектовано у испитиваним узорцима.

Кадмијум може представљати опасан ризик за здравље. Према Правилнику прописана је вредност од 3 µg/L. Кадмијум није евидентиран ни у једном испитиваном узорку.

Антимон може имати утицаја на здравље људи и прописана дозвољена вредност је 5 µg/L. Антимон се у узорцима кретао од 0,2-0,8 µg/L. У једном узорку из ПЕТ амбалаже ознаке 9 регистровано је 1,1 µg/L, што је у сагласности са резултатима анализа добијених од стране других аутора [6]. Уочено је да су садржаји антимиона у узорцима из стаклених амбалажа имали нижу почетну вредност у односу на исте брендове из ПЕТ амбалажа. Већи садржаји антимиона регистровани у ПЕТ амбалажи могу се објаснити чињеницом да временом долази до ослобађања антимиона из ПЕТ амбалаже нарочито на вишим температурама што је потврђено у бројним испитивањима [8]. Да би се видео утицај температуре и времена на ослобађање антимиона из ПЕТ амбалаже, узорци су термостатирани 24 h на температури од 65 °C. Садржај антимиона је измерен пре термостатирања и након 24 h. Узорци вода истог бренда у стакленој амбалажи нису показали пораст садржаја антимиона после 24 h на 65°C за разлику од узорака из ПЕТ амбалаже који су показали вишеструк пораст садржаја антимиона, као што је приказано на слици 1.



Слика 1. Садржај Sb након 24 h на 65 °C
Figure 1. Sb content after 24h at 65 °C

Цезијум је регистрован у свим брендovima без обзира на врсту амбалаже у вредностима од 0,9-85,5 µg/L. Највећа забележана вредност је била у узорку ознаке 3. Баријум је измерен у опсегу од 1-150 µg/L. У два бренда ознака 3 и 10 су измерене нешто више вредности од 200 µg/L. Галијум није евидентиран у узорцима осим у бренду 9 у коме је регистровано 0,5 односно 0,6 µg/L у ПЕТ односно стакленој амбалажи, што је у складу са резултатима анализа других аутора [6].

Негативан утицај олова на здравље је позната чињеница те је присутна забринутост о његовом присуству у води. Максимално дозвољена вредност према Правилнику је 10 µg/L. Олово је измерено у више брендова газираних и негазираних испитиваних вода. Највећа забележена количина од 8,3 µg/L измерена је у високо минерализованим узорку газиране воде из ПЕТ амбалаже ознаке 2. Уран је у већини узорака био испод границе од 0,2 µg/L, осим у високо минерализованом узорку ознаке 2 у коме је измерена вредност била 6,2 µg/L.

Жива спада у веома токсичне елементе чак у врло малим концентрацијама. Максимално дозвољена концентрација живе према Правилнику износи 1 µg/L. Ни у једном испитиваном узорку није регистрована жива.

4. Закључак

Користећи ICP-MS и живин анализатор, анализирано је 25 трагова тешких метала у 21 узорку флаширане воде за пиће са српског тржишта и 2 узорка са чесме.

Резултати анализа испитиваних узорака указала су да су концентрације већине елемената биле знатно испод Правилника о квалитету и другим захтевима за природну минералну воду, природну изворску воду и стону воду који важи у Републици Србији, као и испод прописаних вредности одређених Директивама у ЕУ и СЗО.

Поред тога, садржаји сувог остатка, проводљивости и рН вредности су се кретали у оквиру прописаних стандарда за област минералних вода.

У узорцима минералних вода ознака 2, 4 и 9 детектоване су вредности олова, мангана, арсена и антимона које су испод прописаних вредности Правилником, али су се ближили граници. Сви испитивани параметри анализа у узорцима воде за пиће са чесама били су знатно испод граница прописаних Правилником о хигијенској исправности воде за пиће.

5. Литература

- [1] Kilic S, Survey of trace elements in bottled natural mineral waters using ICP-MS, *Environmental Monitoring and Assessment*, 191 (7), 2019.
- [2] Roje V, Šutalo P, Trace and major elements in Croatian bottled waters, *Journal of Geochemical Exploration* 201, 79-87, 2019.
- [3] Ristić M, et al, Concentrations of selected trace elements in mineral and spring bottled waters on the Serbian market, *Food Additives and Contaminants: Part B* 4, (1), 2011.
- [4] Alghari I. et al, Determination of trace and heavy metals in bottled drinking water in Yemen by ICP-MS, *Results in Chemistry* 8, 101558, 2024.

- [5] Neves M. O. et al, Lithium in Portuguese bottled natural mineral waters-Potential for health benefits, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17 (22), 2020.
- [6] Петровић Т. М. и сар, Макро и микроелементи у флашираним водама и водама из јавних водовода у Србији, *Хемијска индустрија*, 66 (1), 2012.
- [7] Петровић Пантић Т, *Хидрогеотермални ресурси српског кристалног језгра*, докторска дисертација, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, Београд, 2014.
- [8] Нинковић-Николић М, Томић Туцаковић Б, Карић Н, Утицај времена и температуре на ослобађање неких тешких метала из ПЕТ амбалаже у флаширану воду за пиће, зборник радова, *Међународна конференција „Водоводни и канализациони системи“*, УТВСИ, 2023.
- [9] Reimann C. et al, Bottled drinking water: Water contamination from bottle materials (glass, hard PET, soft PET), the influence of colour and acidification, *Applied Geochemistry* 2, 2010.

JAVNE ČESME GRADA KRALJEVA

PUBLIC FOUNTAINS OF THE CITY OF KRALJEVO

DRAGAN MARINOVIĆ¹

ZORAN MILIĆEVIĆ²

SVETLANA BELOŠEVIĆ³,

DUŠANKA MARINOVIĆ⁴

JOVANA BELOŠEVIĆ⁵

Stručni rad

DOI: 10.5937/VIK24299M

Rezime: U ovom radu su prikazani rezultati ispitivanih fizičko-hemijskih i mikrobioloških parametara 9 javnih česmi u toku 2023. godine. Javne česme su locirane u okolini grada Kraljeva. Ispitivanja su rađena radi sagledavanja opterećenosti javnih česmi mikrobiološkim i fizičko-hemijskim parametrima u cilju očuvanja kvaliteta voda za piće i zaštite zdravlje celokupnog stanovništva grada Kraljeva i okoline.

Ključne reči: javne česme, kvalitet vode, fizičko-hemijski i mikrobiološki parametri

Abstract: This paper presents the results of the investigated physicochemical and microbiological parameters of 9 public fountains during the year 2023. Public fountains are located in the vicinity of the city of Kraljevo. The tests were conducted to assess microbiological and physicochemical quality of water from the public fountains in order to preserve the quality of drinking water and protect the health of the population of the city of Kraljevo and its surroundings.

Key Words: public fountains, water quality, physicochemical and microbiological parameters

¹ Dragan Marinović, Zavod za javno zdravlje, Slobodana Penezića 16, Kraljevo, dragan.marinovic@zjkv.org.rs, ORCID: 0000-0001-9257-1596

² Zoran Milićević, Univerzitet u Prištini sa privremenim sedištem u Kosovskoj Mitrovici, Ekonomski fakultet, Kolašinska 156, Kosovska Mitrovica, zoran.milicevic@pr.ac.rs, ORCID 0000-0001-7805-0137

³ Svetlana Belošević, Univerzitet u Prištini sa privremenim sedištem u Kosovskoj Mitrovici, Fakultet tehničkih nauka, Kneza Miloša 7, Kosovska Mitrovica, svetlana.belosevic@pr.ac.rs, ORCID: 0000-0003-3555-054X

⁴ Dušanka Marinović, Vojnomedicinska akademija - VMA, Crnotravska 17, Beograd, dushka97@gmail.com, ORCID: 0009-0001-9422-6355

⁵ Jovana Belošević, Univerzitet u Beogradu, Farmaceutski fakultet, Vojvode Stepe 450, Beograd, jovanabelosevic2@gmail.com, ORCID: 0009-0007-6326-4117

1. Uvod

Najbitniji faktor za život i zdravlje pojedinca i komunalnih aglomeracija je voda. Ona ima veliki higijenski, epidemiološki i biološki značaj za život čoveka [2, 3].

Sedamdeset procenata organizma odraslog čoveka čini voda. Dnevne potrebe za pijaćom vodom u našim klimatskim uslovima su 1.5 l zimi, a 3 l leti.

Voda koja se koristi za ljudsku upotrebu u prirodnom stanju ili prečišćena, koju ljudi piju i koriste za održavanje lične higijene, pripremu, proizvodnju i stavljanje u promet životnih namirnica i predmeta opšte upotrebe jeste voda za piće [1].

Od ukupne količine eksploatisane vode 70% se koristi za proizvodnju hrane. Pošto se broj stanovnika na zemlji stalno povećava, a potrošnja vode raste i sa porastom standarda, postavlja se pitanje „kako obezbediti dovoljnu količinu vode za proizvodnju hrane i potrebe stanovništva” [2, 3]. To se može postići jedino unapređenjem poljoprivredne proizvodnje, efikasnijim i racionalnijim korišćenjem vode i sprečavanjem zagađenja vode i životne sredine.

Voda za piće mora biti higijenski ispravna, određenog kvaliteta, koji je regulisan Pravilnikom o higijenskoj ispravnosti vode za piće (*Sl. list SRJ*, br. 42/98 i 44/99), koji prihvata preporuke i norme Svetske zdravstvene organizacije (SZO) i Evropske unije (EU), a laboratorijska dijagnostika počiva na primeni ISO standarda [1].

Svi prirodni resursi: voda, poljoprivredno, građevinsko i šumsko zemljište, stene, minerali, fosilna goriva, klima (sunce, vetar, plima i oseka), flora i fauna, danas su sve više ugroženi. Ugroženost vode se može izdvojiti kao najozbiljnija jer je voda umnogome povezana sa problemima hrane, energije i zaštite životne sredine. Imajući ovo u vidu, voda je u Dablinu 1992. godine na Konferenciji o vodama i životnoj sredini okarakterisana kao „ograničen izvor i ekonomsko dobro“ koje treba čuvati i njime upravljati tako da se ne ugroze interesi budućih generacija, a istovremeno da se osigura njeno efikasno i pravično korišćenje. Voda kao najvažniji resurs mora se tretirati kao „dobro od opšteg interesa“ i mora se koristiti racionalno, višenamenski i višekratno.

Smatra se da se danas troši oko 50% ukupno raspoloživih zaliha voda za piće, a da bi za dve decenije njena potrošnja mogla da bude oko 80%. Sve se više apeluje i kroz razne kampanje ukazuje na sve veću potrebu racionalne potrošnje zaliha pijaće vode na globalnom nivou, uz opšti zaključak da se na njene svetske rezerve ne može gledati isto kao na zalihe nafte jer je za naftu već pronađeno nekoliko alternativnih rešenja, dok za pijaću vodu nema zamene.

UN ukazuju da voda za piće postaje sve više strateška sirovina. Evropska unija je, stvorila zajednički osnov upravljanja vodama kroz dokument „Okvirna direktiva

o vodama EU”, koju mnogi smatraju „evropskim ustavom o vodama”. Najznačajniji zaključak tog dokumenta je „voda nije komercijalni proizvod kao neki drugi, nego nasleđe koje treba čuvati, zaštititi i shodno tome postupati” [5].

Zbog nestašice i intenzivnog zagađivanja zaliha voda za piće UN su 2003. godinu proglasile međunarodnom godinom voda za piće s ciljem skretanja pažnje čovečanstvu na potrebu što hitnije zaštite njenih svetskih zaliha. Naglašena je realna mogućnost da se u budućnosti, na koju se možda i neće tako dugo čekati, ratovi više neće voditi zbog nafte ili nekih drugih političkih problema nego zbog vode [6]!

Evropska agencija za zaštitu životne sredine (EPA) zaključuje da se dnevno troši prevelika količina vode i da se 20-40% od zahvaćene količine vode nepotrebno rasipa. Stoga je potrebno uvesti novi pristup u upravljanju evropskim vodnim resursima: smanjenje potrošnje „disciplinovanjem” potrošača kroz radikalno povećanje cena. Razlozi su u tome što se smatra da će već 2070. godine na evropskom kontinentu suša biti više pravilo nego izuzetak.

Smatra se da su snabdevanje pijaćom vodom i zaštita životne sredine glavni problemi današnje civilizacije. I veoma uskoro, za deceniju-dve, strategiju svetskih događaja određivaće kartel koji će u međuvremenu uspeti da pod svoje vlasništvo stavi najveće zalihe vode za piće na zemlji.

Čovek svojom aktivnošću značajno zagađuje životnu sredinu, ova zagađenja mogu imati velike posledice po celu planetu, a najbitnija je dezertifikacija, pretvaranje planete u pustinju i povlačenje vode u dubine.

2. Eksperimentalni deo

U ovom radu su prikazani rezultati kontrole higijenske ispravnosti vode za piće javnih česmi na području grada Kraljeva za period od 03.2023. do 12.2023.godine po sklopljenom ugovoru između grada Kraljeva i Zavoda za javno zdravlje u Kraljevu. Vode iz javnih česmi su uzorkovane jednom mesečno od marta do decembra u toku 2023. godine.

Uzorkovanje i kontrola ispravnosti vode za piće javnih česmi se radila po Pravilniku o higijenskoj ispravnosti vode za piće (*Sl. List SRJ* br. 42/98 i 44/99 i *Sl. glasnik RS* 28/19) [2, 3], Pravilniku o dezinfekciji i pregledu vode za piće (*Sl. list SRS* br. 60/81) i Pravilniku o načinu uzimanja uzoraka i metodama za laboratorijsku analizu vode za piće (*Sl. list SFRJ* br. 33/87) [7]. i to „Standardnim metodama za ispitivanje higijenske ispravnosti vode“ [4] ili Validovanim metodama Zavoda za javno zdravlje iz Kraljeva (VMK).

Kontrola ispravnosti vode za piće javnih česmi na području grada Kraljeva u toku ugovorenog perioda obuhvatila je uzorkovanje i anлізу vode na osnovni mikrobiološki i fizičko-hemijski pregled iz 9 javnih česmi, jednom mesečno.

Javne česme:

- Javna česma „Mirina česma“ (Kraljevo).
- Javna česma kod kafane „Jerinin grad“ (put Kraljevo Raška).
- Javna česma „Dobre strane“ (put Kraljevo Raška).
- Javna česma „Dolina jorgovana“ (put Kraljevo Raška).
- Javna česma „Ledina-Kovači“ (kod igrališta).
- Javna česma „Ul. Ribničkih partizana“ (Ribnica).
- Javna česma „Varevac“ (put za Kamenicu).
- Javna česma „Prosvetnih i zdravstvenih radnika“ (Sokolja).
- Javna česma „Pečurka“ (Sokolja).

Laboratorije Zavoda za javno zdravlje Kraljevo su uradile 90 uzoraka na mikrobiološke i fizičko-hemijske parametre sa 9 javnih česmi koje se nalaze u gradu Kraljevu i okolini grada Kraljeva.

Meštani koji žive pored ovih javnih česmi snabdevaju se vodom za piće iz tih javnih česmi. One se uglavnom povremeno čiste i održavaju. Najčešće ne postoji osoba zadužena za održavanje tih javnih česmi već to meštani rade sami bez stručne pomoći.

Fizičko-hemijska analiza uzoraka vode za piće javnih česmi vršila se:

- volumetrijskim metodama (određivanje utroška $KMnO_4$, sadržaj hlorida Cl),
- elektro-hemijskom metodom (vrednost pH),
- spektrofotometrijskim metodama (sadržaj: nitrata, nitrita, amonijaka, sulfata, Fe i Mn).

Instrumenti koji su se koristili za pomenuta ispitivanja su: pH-metar (Hanna), spektrofotometar: Lambda 2 (Perkin Elmer), konduktometar (WTW) i turbidimetar (Hanna).

Mikrobiološka analiza voda za piće ispitivanih javnih česmi oduhvatila je sledeće mikrobiološke parametre:

- ukupan broj aerobnih mezofilnih bakterija,
- koliformne bakterije fekalnog porekla,
- ukupne koliformne bakterije,
- sulfitredukujuće klostridije,
- pseudomonas aeruginosa,
- streptokoke fekalnog porekla i
- proteus vrste.

Fizičkochemijska ispitivanja vršena su prema parametrima koji su određeni Pravilnikom o higijenskoj ispravnosti vode za piće (*Sl. list SRJ* broj 42/98 i 44/ 99, i *Sl. glasnik RS* 28/19).

Granične vrednosti za ispitivane fizičkochemijske parametre su date u tabeli 1.

Tabela 1. Parametri fizičkochemijskog ispitivanja

Table 1. Physicochemical test parameters

1	Temperatura	°C	-	-	SRPS H.Z.106/1970
2	Mirisiukus	poen	-	0	P-IV-2; P-IV3
3	Boja	°Co Ptskale	-	5	VMK 014
4	pH vrednost	-	6.8	8.5	SRPS EN ISO 10523:2016
5	Mutnoća	NTU	-	5	P-IV-4B
6	Utrošak KMnO ₄	mg/l	-	12	P-IV-9a
7	Hloridi Cl	mg/l	-	250	SRPS ISO 9297/1
8	Amonijak NH ₃	mg/l	-	1.0	P-V-2/B
9	Nitriti NO ₂	mg/l	-	0.03	P-V-32/A
10	Nitrati NO ₃	mg/l	-	50.0	P-V-31/C
11	Elektroprovodljivost	µS/cm (20 °C)	-	2500	SRPS EN 27888:2009
12	Gvožđe Fe	mg/l	-	0.3	P-IV-17/C
13	ManganMn	mg/l	-	0.05	VMK 041

3. Rezultati i diskusija

Rezultati ispitivanih mikrobioloških i fizičkochemijskih parametara u 90 uzoraka vode za piće sa javnih česmi uzetih sa devet lokacija u toku 2023. godine prikazani su u tabeli 2.

Rezultati ispitivanih mikrobioloških i fizičkochemijskih parametara vode za piće javnih česmi u okolini grada Kraljeva u toku 2023. godine, daju presek trenutnog stanja kvaliteta voda za piće. Oni pokazuju da zahtevima Pravilnika o higijenskoj ispravnosti vode za piće (*Sl. list SRJ br.42/98, 44/99 i 28/19*) ne odgovara 31 uzorak

od ukupno 90 uzorkovanih voda, odnosno 34.4% uzoraka je neispravno po bilo kom kriterijumu. Od ukupno 90 uzorkovanih voda za piće javnih česmi mikrobiološki je neispravno 31 (34.4%), a hemijski su sve uzorkovane vode za piće javnih česmi bile ispravne.

Tabela 2. Rezultati mikrobioloških i fizičko-hemijskih parametara javnih česmi u 2023. godini

Table 2. Results of microbiological and physicochemical parameters of public fountains in 2023

Naziv i mesto Uzorkovanja	Mirna česma Kraljevo	Jerinin grad KV-Raška	Dobre Strane KV-Raška	Dolina jorgovana KV-Raška	Ledina Kovači	Ul. ribničkih partizana Ribnica	Varevac Kamenica	Prosvetnih i zdravstvenih radnika Kamenica	Pečurka Sokolja Kamenica	Ukupno
Ukupan broj uzetih uzoraka	10	10	10	10	10	10	10	10	10	90
Broj ispravnih	7	4	6	6	8	9	7	5	7	59
% ispravnih	70	40	60	60	80	90	70	50	70	65,6
Broj mikrobnih neispravnih	3	6	4	4	2	1	3	5	3	31
% mikrobnih neispravnih	30	60	40	40	20	10	30	50	30	34,4

4. Zaključci

Na osnovu analize mikrobioloških i fizičko-hemijskih parametara javnih česmi sa devet mesta u okolini grada Kraljeva može se zaključiti:

- Zbog velikog procenta mikrobiološke neispravnosti mora se obaviti hlorisanje voda na tim javnim česmama.
- Ovo je nedovoljno za trajno rešavanje ispravnosti vode za piće javnih česmi, zato je neophodno uspostaviti kontinuiranu dezinfekciju i redovnu kontrolu higijenske ispravnosti javnih česmi.
- Dobijeni mikrobiološki i fizičko-hemijski rezultati ispitivanih javnih česmi treba da dovedu do uspostavljanja komunikacija sa mesnim zajednicama i povećanu zainteresovanost meštana za kontrolu ispravnosti javnih česmi, čišćenje, uređenje i održavanje istih.

5. Literatura

- [1] Dalmacija B, Agbaba J, Klašnja M, *Savremene metode u pripremi vode za piće*, I izdanje, Futura, Novi Sad, 2009.
- [2] Ramzin S, *Priručnik za komunalnu higijenu*, Ognjen Princ, Zagreb, 1966.
- [3] Kristoforović-Ilić M, Radovanović M, Vajagić L, Jeftić Z, Folić R, Krnjetin S, Obrknežev R, *Komunalna higijena*, Prometej, Novi Sad, 1998.
- [4] Jakovljević M, Pantović M, *Hemija, zemljišta i voda*, Naučna knjiga, Beograd, 1991.
- [5] Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće, *Službeni list SRJ* 42/98, 44/99: 1999.
- [6] Pravilnik o izmenama Pravilnika o higijenskoj ispravnosti vode za piće, *Službeni glasnik SR* 28/19: 2019.
- [7] Poček B, Savezni zavod za zdravstvenu zaštitu, *Voda za piće, standardne metode za ispitivanje higijenske ispravnosti*, NIR, Privredni pregled, Beograd, 1990.
- [8] B. Jovančićević, *Dugotrajne organske zagađujuće supstance*, Hemijski fakultet, Beograd, 2006.
- [9] Pravilnik o načinu uzimanja uzoraka i metodama za laboratorijsku analizu vode za piće, *Službeni list SFRJ* 33/87, 1987.
- [10] Marinović D, Milićević Z, Jugović Z, Stojanović M, Marinović D, Lokalni vodni objekti grada Kraljeva i okoline, zbornik radova, *Međunarodna konferencija Vodovod i kanalizacija`18*, SITS, Beograd, 2018.
- [11] Marinović D, Dimitrijević Z, Dimitrijević N, Seoski vodovodi na teritoriji grada Kraljeva, Zbornik radova, *Međunarodna konferencija Vodovod i kanalizacija`16*, SITS, Beograd, 2016.
- [12] Marinović D, Dimitrijević Z, Načini rešavanja i korišćenja vodovoda u seoskim naseljima u Srbiji, Zbornik radova, *Međunarodna konferencija Vodovod i kanalizacija`19*, SITS, Beograd, 2019.
- [13] Marinović D, Stojanović M, Popović D, Kvalitet vode seoskih vodovoda, Zbornik radova, *Međunarodna konferencija Vodovod i kanalizacija`12*, SITS, Beograd, 2012.
- [14] Marinović D, Savić V, Dimitrijević N, Stojanović M, Popović D, Kvalitet vode za piće iz seoskih vodovoda posle majskih poplava 2014. godine u okolini grada Kraljeva, zbornik radova, *Međunarodna konferencija Vodovod i kanalizacija`15*, SITS, Beograd, 2015.
- [15] Marinović D, Savić V, Dimitrijević N, Stojanović M, Popović D, Kvalitet vode za piće iz seoskih vodovoda posle majskih poplava 2014. godine u okolini grada Kraljeva, *Tehnika*, 2016(1).

- [16] Marinović D, Milićević Z, Jugović Z, Stojanović M, Marinović D, Physical chemical characteristics of the local water facilities of the city of Kraljevo, (5), *Tehnika*, SITS, 2019.
- [17] Marinović D, Dimitrijević Z, Marinović D, Procena kvaliteta voda lokalnih vodovoda u Republici Srbiji i gradu Kraljevu, *Tehnika*, (6), SITS, 2019.
- [18] Marinović D, Dimitrijević Z, Milićević Z, Jugović Z, Stojanović M, Marinović D, Kvalitet vode alternativnih izvora grada Kraljevu 2018-2019, zbornik radova, 41. *Međunarodna konferencija, Vodovod i kanalizacija '20*, p. 79-86, SITS, Beograd, 2020

ЗНАЧАЈ СЕОСКИХ ВОДОВОДА ЗА УНАПРЕЂЕЊЕ БЕЗБЕДНОСТИ ВОДОСНАБДЕВАЊА

IMPORTANCE OF RURAL WATER SUPPLY FOR IMPROVING WATER SUPPLY SECURITY

ЗОРАН ДИМИТРИЈЕВИЋ¹

Стручни рад

DOI: 10.5937/VIK24307D

Резиме: Водоснабдевање становништва и привреде је од кључног значаја за сваку државу и сваку локалну самоуправу, пошто је безбедна вода најважнији чинилац за добро здравље људи и животиња. Повећана опасност од тероризма у 21. веку захтева посебну позорност на осетљивост водоводних система на могуће терористичке претње које укључују физичко уништење инжењерских објеката или опреме, нападе на надзорно управљачке системе и друге рачунарске системе, могућу намерну биолошко-хемијску или радиолошку контаминацију водоснабдевања. Заштита у држави, локалној самоуправи и водоводној организацији мора да се успостави на свим нивоима, које сачињавају: министарства, градске управе, запослени радници, са циљем да заштите целокупан водосистем који садржи објекте (извориште, транспорт сирове воде, постројења за пречишћавање воде и дистрибуциону мрежу све до самих потошача) и припадајућу опрему, са успостављеним јасним процедурама. У овим условима, сеоски водоводни системи су важан алтернативни извор водоснабдевања, који може повећати резилентност водоснабдевања у руралним подручјима и обезбедити хитно снабдевање чак и већег броја становништва. Стога је улагање у унапређења сеоских водоводних система од изузетне важности и са аспекта укупне безбедности водоснабдевања.

Кључне речи: тероризам, вода за пиће, алтернативни извор водоснабдевања

Abstract: Water supply for the population and the economy is of key importance for every state and every local self-government, since safe water is the most important factor for the good health of people and livestock. The increased threat of terrorism in the 21st century requires special attention to the sensitivity of water supply systems to possible terrorist threats that include physical destruction of facilities or equipment, attacks on supervisory control sy-

¹ Зоран Димитријевић, ЈКП „Водовод“ Краљево, 27. марта 2, Краљево, dimzoran75-@yahoo.com, ORCID: 0009-0008-4849-6646

systems and other computer systems, possible intentional biological-chemical or radiological contamination of water. Protection in the state, local self-government and the water supply organization must be established at all levels, consisting of: ministries, city administrations, employees with the aim of protecting the entire water system that contains facilities (source, raw water transport, water purification plants and distribution network down to the sprinklers themselves) and associated equipment, with established clear procedures. Under these conditions, rural water supply systems are an important alternative source of water supply that can increase resilience of water supply in rural areas and provide emergency supply even to larger population. Therefore, investing in the improvement of rural water supply systems is extremely important from the aspect of overall water supply security.

Key Words: terrorism, drinking water, alternative source of water supply,

1. Увод

Живот је настао у води и постоји захваљујући води. Хидросфера је само један део глобалног еколошког система. Вода нема замену или алтернативу. Може се констатовати да је то неизмерна стихија и када је има премало (суше, ширење пустиња...) и када је има превише (поплаве, клизишта, ерозије...), узрок је великог броја болести и епидемија током историје човечанства. Право на безбедну воду за пиће (у смислу здравствено исправне воде) и санитацију као основно људско право из којег произилазе сва остала људска права исказано је у Резолуцији Уједињених нација 64/292, усвојеној на Генералној скупштини 28. јула 2010. године.

Укупна количина воде на нашој планети процењује се на око 1.400 милиона кубних километара, од чега се само 2.5% односи на слатку воду, па чак је и од те количине само 20% погодно, да се уз релативно малу поправку (пречишћавање и дезинфекцију), искористи за људске потребе. Само 2.6 милијарди људи на Земљи у овом моменту располаже минималним санитарним условима који се односе и на водоснабдевање, док око половина становништва земаља у развоју пати од болести проузрокованих неисправном водом за пиће.

Осим за пиће, вода је људима неопходна и за припремање хране, одржавање хигијене, као и за многобројне процесе у индустрији и пољопривреди. Загађење подземних вода настаје управо због пољопривредних активности, које подразумевају коришћење вештачких ђубрива. Од категорије која се подразумева и о којој се не води претерано рачуна, вода је у 21. веку постала најзначајнији стратешки природни ресурс. Као што се каже да је 20. век карактерисала глобална борба за премоћ кроз контролисање извора нафте, тако се сматра да је 21. век – век борбе за контролу преосталих извора чисте воде. Кажемо преосталих, иако вода спада у такозване „обновљиве“ ресурсе.

Наиме, вода у природи кружи и стално пролази кроз циклус експлоатације, употребе, испуштања након коришћења и повратка у циклус у виду атмосферске или текуће воде. Међутим, вода се у току тих пролазака кроз циклусе мења, најчешће у негативном смислу, односно оптерећује се штетним материјама и загађивачима биолошког, хемијског или радиолошког порекла. Сачувати преосталу чисту воду и смањити загађење у процесу њене експлоатације представљају основне циљеве у овом веку, јер људска врста, као и сав живи свет на нашој планети, директно зависи од количине и квалитета воде.

Вода је најзаступљенија супстанца у људском организму. Код одраслих особа она заузима просечно 60% телесне масе, што на пример код мушкарца тешког 70 kg износи око 40 литара. Тело новорођенчета садржи значајно више воде (око 75%) и тако висок проценат се одржава у токе прве године живота. Код старијих особа (преко 60 година) постепено долази до смањења садржаја воде у телу на око 50-55% телесне масе, што зависи од садржаја масти.

Вода је суштински важна за живот. Недостатак воде манифестује се јако брзо, а симптоми се јављају већ при недостатку 1% од укупне количине воде. Ако се дехидрација настави, срчана функција, дисање и терморегулација бивају угрожени, а при потпуном недостатку воде, смрт наступа у току неколико дана.

Наравно, када говоримо о води као телесној течности, она се не састоји само од водоника и кисеоника, већ је то један раствор соли, шећера и беланчевина, тако да се у случајевима губитка воде губе и ови драгоцене састојци. Вода у организму представља универзални медијум преко кога се одржава функција свих ћелија, од крви, транспорта хранљивих материја до излучивања продуката метаболизма и штетних састојака мокраћом. Губитком телесне течности крв почиње да се згушњава, а за изазивање приметног умора довољно је изгубити само 2% укупне воде из организма. Губитак 5% течности доводи до несвестице и грчева, а губитак од 10% је најчешће фаталан.

„Сваког минута, 15 особа умре у свету због немогућности приступа здравој води. Више од 1 милијарде особа лишено је воде, и према ОУН, ова бројка би се могла ускоро утростручити ако се ништа не учини“. 2,4 милијарде људи (1 од 3) у свету нема приступ тоалету. Процењује се да је у свету, због недостатка воде и санитације, најмање 160 милиона неухрањене деце и са тешким последицама у развоју. Трећина свих школа у свету нема приступ безбедној води и адекватну санитацију, а око 443 милиона школских дана се губи сваке године због болести проузрокованих контаминираном водом за пиће, у просеку се око 70% воде користи за пољопривреду и наводњавање, а само 10% за домаће потребе. Око 80% људи, који немају приступ безбедној води, живи у руралним условима, а приближно 1 од 5 смртних случајева деце испод 5

година је проузрокован болестима изазваним контаминираном водом. Сваких 90 секунди једно дете умре услед болести изазваних контаминираном водом.

Порастом становништва у свету стање се поступно мења, односно погоршава, јер се (стални) ресурси деле на све већи број људи. Према умереним демографским проценама светско становништво ће се до 2050. године, попети на око 9 милијарди људи. Због тог пораста ће се водени ресурси по становнику битно смањити, што ће у посебно тешку ситуацију довести најмногљудније континенте: Азију и Африку. Према мишљењу експерата основна претња будућих сукоба проистиче из неравномерне расподеле водених ресурса. Минимална дневна потреба воде износи 20 литара по човеку, али око милијарде људи тренутно на планети има могућности да користи само 5 литара дневно. Најакутнији дефицит воде за пиће се осећа на Блиском Истоку, у Кини, Индији, Средњој Азији, у земљама Централне и Источне Африке. Глобална nestaшица воде представља велику и реалну опасност од рата и тероризма. Напади на воду задиру дубоко у прошлост. Још су древни кинески ратници 1.000 година пре Христа користили арсен (лат. arsenium) за загађивање изворишта воде за пиће својих непријатеља. У литератури постоји листа различитих врста сукоба око воде (војне операције, терористичке акције укључујући нарастајући сајбер тероризам, развојни спорови). Из ње се види да су се сукоби око воде водили и пре Христа. Листа почиње са древном сумерском легендом, која каже да је сумерски бог Енки (Еа) 3.000 година пре Христа изазвао на Земљи шестодневну олују да би казнио људе због њихових грехова. Сумерски мит је сличан Потопу описаном у Библији, који је наступио услед Божијег гнева због нагомиланих грехова људи. Таквих примера има много у давној прошлости и почињу са организованим облицима живота код људске популације.

2. Преглед напада на водоводне системе

Увидом у архиве које говоре о нападима на водоводне системе у свету анализиран је период од 1900. године до данас и примера ради дајемо нека карактеристична дешавања у периоду после Другог светског рата:

Година 1951. Израел и Сирија се боре око реке Јармук Жртва, оружје Израел, Јордан, Сирија Западна Азија. Јордан објављује своје планове за наводњавање долине Јордана испуштањем реке Јармук; Израел одговара тако што започиње исушивање мочвара Хулех које се налазе у демилитаризованој зони између Израела и Сирије; долази до граничних сукоба између Израела и Сирије.

Година 1951. Северна Кореја је поплавила долину Пукхан Жртве, оружје Северна Кореја Источна Азија. Северна Кореја је избацила поплавне таласе са

бране Хвачон који су оштетили плутајуће мостове којима су управљале трупе УН у долини Пукхан. Америчка морнарица затим шаље авионе да униште капије на преливу.

Година 1953. Сукоб Израела и Сирије око Галилејског мора и изградња израелског националног водоноше Покреће Израел, Јордан, Сирија Западна Азија. Израел почиње изградњу свог националног водоноше за преношење воде са севера Галилејског мора из слива Јордана у пустињу Негев на наводњавање. Сиријске војне акције дуж границе и међународно неодобравање довели су до тога да Израел помери свој улазак у Галилејско море.

Година 1953. Ваздушне снаге команде УН поново напале севернокорејску брану у Суи-хоу током корејског рата. Жртва Северна Кореја, Сједињене Америчке Државе, Источна Азија. Нови бомбашки напад на генераторе бране Суи-хо извеле су ваздушне јединице команде УН у фебруару 1953.

Година 1958. Сукоб Египат Судан. Египат шаље неуспешну војну експедицију на спорну територију усред преговора о водама Нила, општин избора у Судану и гласања у Египту о уједињењу Судана и Египта; Уговор о води Нила потписан када је у Судану изабрана проегипатска влада.

Година 1965. Први напади припадника палестинског НОП „Ал-Фатах“ је покушај диверзије пумпи за израелски Национални аквадукт за воду. Диверзија није успела;

Година 1972. Два припадника десничарског Реда излазећег сунца (Order of the Rising Sun) ухапшени су у Чикагу са 30-40 kg бактеријске културе која изазива тифус, са којом су планирали да затрују водоводне системе у Чикагу, Сент Луису, и другим градовима. Стручњаци су проценили да овај план, и да је остварен, вероватно не би изазвао здравствене проблеме код људи зато што је вода хлорисана;

Година 1977. Контаминиран са непознатом материјом резервоар за воду у Северној Каролини/САД. Уклоњени су сигуросни поклопци и вентили и у резервоар стављене отровне хемикалије... само је још требала да се пусти вода у резервоар;

Година 1999. Експлозија бомбе уништила је део главног водовода који снабдева Лусаку, главни град Замбије, који има око 2,5 милиона становника;

Година 1999. Преко 100 људских лешева нађено је у четири бунара питке воде у Централној Анголи;

Година 2001. Доток воде у Куманово (око 100.000 становника) био је у прекиду 12 дана услед сукоба између етничких Албанаца и македонских снага. Вентили на Липковском језеру и вештачком језеру Глажња били су оштећени;

Година 2010. Израелске војне снаге уништиле су палестински резервоар за пољопривредну воду. Дана 9. августа, израелске војне снаге демолирају пољопривредни резервоар за воду у власништву Палестинаца, који се користи за пољопривреду у близини Јабада, Ценин, Западна обала.

У јулу 2015. године ухапшени су исламисти у близини Грачаничког језера на Космету због сумње да су намеравали да затрују воду у језеру. Због тога је било обустављено снабдевање водом за пиће за део становника Приштине, Грачанице и околних села, Чаглавице и Ајвалије као и свих других који се снабдевају из Грачаничког језера преко приштинског регионалног „Водовода“.

Година 2021. Израелске војне снаге руше пољопривредне објекте, укључујући бунар за воду на Западној обали. Дана 11. августа 2021, израелске војне снаге демолирају пољопривредне објекте, укључујући бунар, караване и пољопривредне просторије у Мосафер Јути на Западној обали.

Година 2022. Руски ратни авиони напали водену станицу у близини Идлиба, Сирија, оштетивши водоводни систем. Руски ратни авиони су 2. јануара извели ваздушне нападе на околину Сијер – градску водоводну станицу у близини Идлиба у Сирији, оштетивши цеви и онемогућавајући станицу.

Година 2022. Милитанти нападају села у Малију, убијају четири и уништавају инфраструктуру за воду. Дана 3. јануара, милитанти ИСВАП-а (Велика Сахара) нападају села Лабоци, Дорејеи Усадија, у Гаоу, Мали. Четири особе су погинуле, куће су запаљене, а резервоар за воду је уништен.

Година 2022. Милитанти Ал Шабаба напали цистерну за воду у Сомалији убивши десет и ранивши 15 жртава. Дана 1. јануара, милитанти Ал Шабаба детонирали су даљински управљани ИЕД, гађајући танкер за воду етиопијских снага у близини села Феерфеер, Сомалија. Ал Шабаб тврди да је десет војника погинуло, а 15 рањено.

Година 2022. Украјинци преплављују земљу да би успорили напредовање Русије на Кијев. Оружје. Украјина намерно испушта воду из бране на реци Дњепар која поплављује земљиште северно од Кијева како би успорила напредовање руских оклопних колона. Вода ствара велику баријеру руским снагама и помаже у одбрани украјинске престонице.

Година 2022. Ваздушни напад погађа резервоаре за воду у Саади, Јемен. Жртве Јемен Западна Азија. Дана 1. новембра, ваздушни напад погађа резервоаре за воду у округу Саада, Саада, Јемен.

Година 2022. Руске трупе уништиле украјинску брану која је блокирала воду до Крима. Крајем фебруара, руске трупе које су извршиле инвазију на Украјину су уништиле бетонску брану изграђену 2014. да би прекинули воду

за Крим, након што је Русија анектирала тај регион. Канал је првобитно изграђен да обезбеди воду из реке Дњепар за украјинску област Херсон и Крим.

Година 2023. У израелском ваздушном нападу убијено је двоје и повређено неколико људи који су пунили воду у Кан Јунису, у Гази, Палестина, Израел, Западна Азија.

Година 2023. Израелски побуњеници уништавају водену инфраструктуру у Јалуду, Жртва на Западној обали Палестина, Израел Западна Азија. Израелски досељеници уништавају стабла маслина, контејнере за воду и линије за наводњавање у Јалуду, Наблус, Западна обала.

Година 2023. Израелски досељеници уништавају водоводне системе на палестинским земљама у Јалуду, Жртва на Западној обали Палестина, Израел Западна Азија. Дана 24. децембра, побуњеници израелски досељеници посекали су 60 стабала маслина и уништили контејнере за воду и водове за наводњавање на земљиштима у власништву Палестинаца у Кита Камелу у Јалуду, Наблус, Западна обала.

Година 2023. У израелском ваздушном нападу на аутомобил који припада Управи за водоснабдевање у Гази погинула су тројица људи. Жртве Палестина, Израел Западна Азија. Израелски ратни авиони извели су ваздушне нападе у Кан Јунису у Гази, укључујући напад на аутомобил који припада Управи за воде Газе, при чему су три човека погинула.

Година 2023. Чланови КРРС-а упали у пумпну станицу за воду у Карнатаки, Индија тражећи надокнаду за земљиште оштећено браном Триггер Индија Јужна Азија Карнатака Чланови Рајија Раитха Сангха (КРРС) протестују и јуришају на пумпну станицу Тхумбе у граду Тхумбе, Карнатака, Индија, тражећи надокнаду за пољопривреднике чија су земљишта оштећена услед испуштања воде са бране.

Година 2023. Једна особа погинула у експлозији бунара за воду минираном ИЕД-ом од стране ЈНИМ милитаната у Сорги, Буркина Фасо Оружје Буркина Фасо Подсахарска Африка. Експлодирао је бунар за воду миниран ИЕД-ом од стране ЈНИМ-а (подгрупа Катибат Муслимоу формирана у Буркини Фасо) у области Сорга, Боганде, Буркина Фасо.

Година 2023. Украјинска војна гранатирала Белгород, узрокујући жртве и оштећене водоводне цеви. Жртве Русија, Украјина, Источна Европа. Украјинска војска гранатира Белгород са преко 13 ракета, убивши једног човека и оштетивши куће, аутомобиле, гасне и водоводне цеви.

Година 2023. Израелски побуњеници секли су палестинска стабла маслина и уништавали водомере у Ценину, на Западној обали Палестина.

Увидом у доступну архиву расте прогресија ратова у свету посебно у 21 веку. Као илустрација те тенденције наводимо преглед конфликта од 1900. године до данас. Преглед конфликта је следећи:

Табела 1. Преглед конфликта од 1900. до 2023. године

Table 1. An overview of conflicts from 1900 till 2023

период	број конфликата
1900-1999	181
2000-2009	220
2010-2019	629
2020-2023	785

На основу ових података види се нагла прогресија конфликта у 21. веку као тзв. „веку несташице воде“ и вероватно се очекује даља прогресија у будућности са порастом становништва и теже прерасподеле воде.

3. Могуће терористичке претње водоводним системима

Системи водоснабдевања имају најважније место у техничкој инфраструктури било којег насеља, јер обезбеђују ефикасно и поуздано снабдевање становника водом за пиће. Постоји много различитих претњи непрекидном снабдевању становништва водом за пиће, као што су кварови на опреми, природне или намерно изазване катастрофе. Обезбеђење непрекидног снабдевања становништва водом за пиће посебно је важно у данашње време када постоје реалне претње од терористичких напада на снабдевање водом. Прекид снабдевања водом урбаних насеља, посебно оних већих, или контаминација воде за пиће представља озбиљну пријетња по здравље и живот становника. Инфраструктура може бити директна мета (нпр. бомбардовање или минирање појединих делова инфраструктуре) или вода може намерно да се контаминира уношењем нпр. опасних по здравље људи биолошких, хемијских или радиолошких агенаса.

Намерна контаминација водоводних система је најозбиљнији од могућих сценарија, мада се контаминација опасним биолошким агенсима тешко може спровести, јер би за озбиљније ефекте контаминације била потребна већа количина ових агенаса и убацивање ове количине агенаса тешко да би могло да прође непримећено. Иако не би било великих здравствених последица по становништво од контаминације воде за пиће биолошким агенсима, психолошки ефекти контаминације на становништво били би велики, јер би изазвали велики страх и панику код људи.

Језера, бране са акумулацијама и друга погодна водна тела доступна су становништву и често представљају туристичке атракције и користе се у рекреативне сврхе (купање, веслање...), па представљају релативно лаке мете за намерну контаминацију воде.

Већина водних тела која су у систему водоснабдевања се недовољно штите и представљају меке мете за терористичке нападе.

Деловање намерне контаминације ових водних тела имаће ефекте тек када контаминирана вода доспе до дистрибуционог дела водоводног система, а тада је задатак ублажавања последица контаминације веома тежак. Треба напоменути да је довољно неколико литара високо токсичног материјала који, уколико се убаца у водоводни систем применом одговарајућег метода, може да загади цео или део водоводног система који снабдева водом популацију од више дестина хиљада људи, у року од неколико сати.

Залихе воде су подложне нападима кроз намерну контаминацију или физичке нападе на критичне објекте, што би дубоко утицало на поверење јавности и створило значајан економски поремећај. Терористички напади на воду нису само „страх“, као што постоји доста примера где је вода коришћена и као оруђе и као мета за напад.

3.1. Водени тероризам и оружје за масовно уништење

Министарство правде Сједињених Држава (САД) дефинисало је тероризам на следећи начин: „Тероризам је незаконита употреба силе или насиља, или претња употребом силе или насиља, против лица и места у циљу застрашивања и/или принуде владе, њених грађана, или било ког његовог сегмента за политичке или друштвене циљеве.“ (28. Законик савезне државе Правила, одељак 0.85). Дакле, насиље, страх и застрашивање су три кључна елемента која производе терор код својих жртава. Директор ФБИ Robert Mueller је тада дао изјаву: „Тровање залихе хране и воде може бити атрактивна тактика у будућности. Успешан покушај може изазвати хиљаде жртава, посејати страх међу становништвом и поткопати поверење јавности у храну и водоснабдевање“. Отуда, тероризам није искључив само за директне оружане сукобе или нападе, али могу бити усмерени и на кључне залихе за људе, као што су храна и воде, што може имати много шири утицај на веће бројеве - до хиљаде (пре него мале групе) у погледу оружаног тероризма.

3.2. Хемијска и биолошка контаминација воде

Један од главних страхова који окружују водоводне системе је да су разноврсни и просторно распрострањени на великим географским подручјима. Штавише, вода се уноси кроз пиће и кување, може се и удахнути приликом

испаривања као аеросол под тушем. С друге стране, вода се користи за санитацију и у економске сврхе, за рад у индустрији. Због тога су водоводни системи изузетно рањиви на неколико физичких, хемијских и биолошких претњи које могу утицати на систем способности за испоруку безбедне воде. Системи за воду за пиће и отпадне воде садрже компоненте којима је лако приступити и тешко их је заштитити (постројења за пречишћавање, пумпне станице и дистрибутивни цевни системи).

Према Глеицк-у, хемијски и биолошки загађивачи у води могу да инфицирају појединце путем различитих путева изложености. Да би се размотрило хемијско или биолошко оружје као ефикасно оружје, оно мора бити наоружано и произведено у довољној количини која има значајан ефекат; растворљив и стабилан у води, заразан, може изазвати озбиљне болести, тешко га је открити, отпоран је на хлорисање и јетин је за нападача.

3.3. Мете напада

У већини случајева, биолошка или хемијски контаминација би изазвала највећу забринутост за систем пијаће воде. Међутим, с обзиром на величине већине водоводних система, било би тешко контаминирати водоводни систем овим агенсима због огромне количине загађивача потребних да нанесу штету људима. Напади се могу десити у три области водоводног система:

1. Изворска вода
2. Постројење за пречишћавање
3. Дистрибутивни систем

Дистрибутивни систем је највероватнија мета јер је лакше доступан и директна је веза са потрошачима. Напад на водоводни систем, са намером да изазове већу штету или наношење штете људима, може бити донекле тешко изводљив, али не треба олако гледати на ту могућност. Та претња је реална и системи за водоснабдевање морају бити припремљени.

Посебности водоводних система у индустрији производње воде за пиће, које су важне приликом анализе и процене терористичких претњи, огледају се у:

- широком опсегу опасности за воду, што пре свега зависи од врсте и заштите изворишта воде, али и од адекватног одржавања хигијене инфраструктуре и радне средине водоводне организације;
- широком опсегу опасних догађаја (катастрофалне људске грешке, које могу бити и намерне, при руковању постројењима за пречишћавање воде; срачуната испорука неадекватних хемикалија за пречишћавање воде; срачунати прекиди у снабдевању електричном енергијом...);

- непрекидном протоку воде од извора сирове воде са пласманом до потрошача
- великим микрокомплексним дистрибуционим мрежама
- постројењима и опреми за пречишћавање и дистрибуцију воде, којима се даљински командује и управља (SCADA, телеметрија, телекомуникациони системи...).

4. Посебност малих водоводних система

Мали водоводни системи, посебно у сеоском подручју, имају специфичности које одбијају терористичке и друге претње по безбедност воде за пиће и оне се огледају у следећем:

- Много малих водоводних система на територији локалне самоуправе поготову у брдско-планинским подручјима
- Велика просторна разуђеност сеоских водовода
- Тежак приступ водним објектима
- Непозната конфигурација терена и тежак приступ информацијама од значаја за напад
- Велики трошкови да би се угрозили сви сеоски водоводи на територији локалне самоуправе
- Потребне су дуге временске припреме да би се реализовао напад на водне објекте
- Значајно мање објеката (резервоара, црпних станица) где се може извршити напад
- Ширење панике и страха на много мањем простору од потребног за успешност терористичког напада
- Лакше организовано браћење мањих локалитета
- Тешка доступност са земље и ваздуха и
- Улагања у одрживост ових система релативно мала.

На основу података из водоводних система у Србији у већини градова постоји пар резервоара, пар црпних станица и пар локација изворишта. То је простор који је значајан по површини и величини објеката, али на једном месту и релативно лако доступан са копна и ваздуха. Дистрибутивна мрежа преко објеката хидраната и вентила у ревизионим окнима релативно је доступна за терористичка дејства. Насупрот томе у значајном делу локалних самоуправа у Србији сеоских водовода има више десетина и стотина (пример града Краљева где има преко 1.300 малих водовода - услов 5 становника и више на водоводу)

које је немогуће без великих ресурса и дугог временског интервала напасти и контаминирати или уништити. У циљу припреме Србије за алтернативне изворе водоснабдевања неопходно је променити однос према сеоским водоводима, те сматрамо да је потребно одмах урадити следеће:

- Да Влада Србије формира посебно Тело за сеоске водоводе, са задатком да прати рад сеоских водовода у Србији са посебним освртом на сваку локалну самоуправу, да информише јавност о резултатима свог рада и припрема потребне прописе и акте који би ову област унапредили;
- Да се посебним програмима подстакну носиоци власти на локалном нивоу да организују и прате спровођење мера и активности из своје надлежности у решавању проблема у сеским водоводима, уз коришћење података и стручних анализа, добијених од институција и организација на националном нивоу, које би биле укључене у ове активности;
- Да се о стању водоснабдевања у сеоским срединама и спровођењу стратегије редовно информишу Влада Србије, Народна скупштина, стручна и најшира јавност;
- Да се направи национални регистар кадровске структуре у јединицама локалних самоуправа, који би били задужени за праћење рада и одржавање свих система за водоснабдевање и одвођење и третман отпадних вода, укључујући посебно и сеоске водоводе;
- Да се на свим нивоима промовише савремени концепт одговорности за стање безбедности квалитета воде, именовањем посебних лица задужених за исправност воде у сеоским подручјима;
- Да се сходно регистру кадровске структуре подстиче образовање и развој адекватних кадрова, кроз систем стипендија у области техничких и инжењерских наука везаним за водоснабдевање и канализацију отпадних вода, било од стране јавног или приватног сектора;
- Да се формира фонд за подршку раду Тела за сеоске водоводе, који би значајно олакшао локалним заједницама обезбеђивање средстава суфинансирања и префинансирања пројектних активности у циљу обезбеђивања квалитетног рада сеоских водовода.

5. Закључак

Борба за природне ресурсе је била основни разлог свих ратова у историји, иако су они увек прикривани другим разлозима: религијским, идеолошким или чак разлозима о праву више расе (Немачка у Другом светском рату) или као данас, глобалистичким устројством новог светског поретка (увођењем демо-

кратије, слободног тржишта, правима националних мањина за отцепљењем од матичне државе, увек у подручјима која су богата ресурсима и уз помоћ великих индустријских земаља). Несташица воде, као кључног ресурса, данас је видљиви узрок сукоба и ратова ограниченог карактера, који су у основи само прикривена колонијална освајања. Такође, актуелна је и борба за плодно пољопривредно земљиште, које је исто тако необновљив природни ресурс али који се без воде не може привести намени.

Климатске промене изазване и убрзане људским фактором такође суочавају свет са сукобима које ће проузроковати драматичне промене устаљеног система климе, односно климатским хаосом, који ће на првом месту угрозити стабилну производњу хране и повећати број гладних у свету.

Најбољи начин да се једна држава избори са овим проблемом јесте улагање у одрживе сеоске водоводне системе, које је јако тешко или немогуће у великом броју уништити или контаминирати, као што је то могуће са већим тзв. градским системима. Они су неопходни да би се преживело и омогућило да се премости време до опоравка великих водоводних система.

6. Литература

- [1] Водич кроз преговоре Србије и Европске уније. <http://kurs-pregovori-seio.gov.rs/>
- [2] Sekheta M. A. F, Sahtout A. H, Farid N. Sekheta F. N, Pantovic N, Al Omari A. T. Terrorist Threats to Food & Water Supplies and the Role of HACCP Implementation as One of the Major Effective and Preventive Measures, *Internet Journal of Food Safety*, Vol. 8, 2006.
- [3] Закон о потврђивању протокола о изменама европске конвенције о сузбијању тероризма, *Сл. гласник РС – Међународни уговори*, бр. 19/2009.
- [4] Пендић З, Јаковљевић Б, Милинковић М. Вода као стратешки ресурс Србије – како осигурати безбедност и квалитет воде за пиће, у *Зборник СОПЛОГ 2015*, Београд, пп. 569-579, 10. новембар 2015.
- [5] *Guidelines for drinking-water quality*, Fourth edition, World Health Organization, 2011.
- [6] Јањушевић Стрижак М. Заштита водних система: Изазови корпоративне друштвене одговорности за водоснабдевање у Србији, *Зборник радова, Међународна конференција „Водовод и канализација ’15“*, Вршац, пп. 242-250, 13-16. октобар 2015.
- [7] Димитријевић З, Мариновић Д, Начини решавања одржавања и коришћења водовода у сеоским насељима у Србији”, *Зборник радова Међународна конференција „Водовод и канализација ’19“*, Нови Сад, октобар 2019.

- [8] Димитријевић З, Мариновић Д, Сеоски водоводи у Републици Србији, Зборник радова, *Треће саветовање Сеоски водоводи III*, Врњачка Бања, Септембар 2022.
- [9] Water Conflict Chronology List, [Internet], <http://www2.worldwater.org/conflict/list/>

QUALITATIVE DETERMINATION OF THE SOLID CALCIUM CARBONATE DEPOSITION TENDENCY FROM NATURAL WATERS

KVALITATIVNO ODREĐIVANJE SKLONOSTI TALOŽENJA ČVRSTOG KALCIJUM KARBONATA IZ PRIRODNIH VODA

ALEKSANDRA PORJAZOSKA KUJUNDZISKI¹
DRAGICA CHAMOVSKA²

Professional paper
DOI: 10.5937/VIK24321K

Abstract: Natural waters, during their transportation in the pipelines (metal, plastic, etc.), heat exchangers, their accumulation in reservoirs, and their different applications as technical water, show an affinity to create solid precipitations on the contact surfaces. It is more than clear that these processes are undesirable. In this work, the so-called saturation index for thermo-mineral water of Katlanovo Spa has been determined indicating qualitatively the theoretical affinity of water for the precipitation of calcium carbonate deposits on the contact surface areas. The saturation index for spring water takes values of 1.114 for 50°C and 0.904 for 40°C, and for the water in the collecting pool, 1.35 and 1.15 for 50°C and 40°C, respectively.

Key Words: natural waters, solid depositions, calcium carbonate, saturation index

Rezime: Prirodne vode, tokom transporta u cevovodima (metalni, plastični i dr.), izmenjivačima toplote, njihovom akumulacijom u rezervoarima i različitim primenama kao tehničke vode, pokazuju sklonost stvaranju čvrstih padavina na dodirnim površinama. Više je nego jasno da su ovi procesi nepoželjni. U ovom radu određen je takozvani indeks zasićenosti termomineralne vode Katlanovske banje koji kvalitativno ukazuje na teorijski afinitet vode za taloženje naslaga kalcijum karbonata na kontaktnim površinama. Indeks zasićenosti izvorske vode ima vrednosti od 1,114 za 50°C i 0,904 za 40°C, a za vodu u sabirnom bazenu 1,35 za 50°C, odnosno 1,15 za 40°C.

Ključne reči: prirodne vode, čvrsti talozi, kalcijum karbonat, indeks zasićenja

¹ Aleksandra Porjazoska Kujundziski, International Balkan University, Faculty of Engineering, Makedonsko-Kosovska Brigada bb, Skopje, R. North Macedonia, ORCID: 0000-0001-8177-3328

² Dragica Chamovska, University Ss. Cyril and Methodius, Faculty of Technology and Metallurgy, Ruger Boskovic 16, Skopje, Research Center for Environment and Materials,

1. Introduction

Natural waters, such as groundwater, surface water, and spring water, often contain dissolved salts, mainly containing calcium carbonate, such as during their transportation throughout metal or plastic pipelines, in the heat exchangers, the storage in the reservoirs, and their usage in different technological processes, show the tendency of the formation of carbonate precipitations, scales on the contact surfaces. Water containing between 150 and 300 mg CaCO_3/L is known as „hard” water [1]. As carbonates precipitate on the surfaces inside the hot water pipes, the pipe diameter decreases, disturbing the water flow rate and carrying installation capacity. Also, this phenomenon disturbs the heat transfer through the metal pipes in the heat exchanger elements [2]. In extreme cases, this spontaneous formation of solid deposits can lead to immeasurable damage and interruptions in technological processes due to the clogging of cooling pipes, pipes in steam boilers, chemical reactors, etc. It should be emphasized that these processes also occur in the situations when deionized water is used. Due to the insufficient degree of softness and the content of dissolved salts, mainly calcium carbonate, they can cause significant damage and malfunctions in power plants.

There are various “classical” methods to decrease the water's „hardness“ and/or restrict carbonate precipitation, including cation exchange, precipitation, chemical softening, or the use of membranes and inhibitors. In addition, some unconventional techniques, such as magnetic and electromagnetic protocols, have also been implemented [3].

Determining the deposition tendency of solid calcium carbonate is crucial in assessing the potential for scale formation, which can lead to operational challenges and equipment damage. This process depends on various factors, such as pH, temperature, and the presence of other dissolved species [4]. Researchers have explored the mechanisms and dynamics of calcium carbonate precipitation in detail, providing valuable insights into the qualitative assessment of this phenomenon [5].

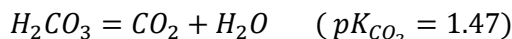
2. Theoretical consideration of the hard deposit formation from natural waters

Calcium carbonate is a polymorphic material composed of different constitutional minerals created depending on the medium and the presence of other elements. The most common minerals are calcite, aragonite, and vaterite [3].

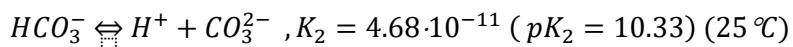
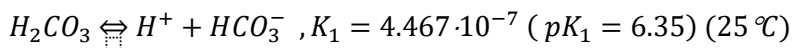
Calcium carbonate has small water solubility, with the solubility product taking values of $S_p = 4.57 \cdot 10^{-9}$ ($pS_p = 8.34$) for calcite and $6.03 \cdot 10^{-9}$ ($pS_p = 8.22$) for ara-

gonite at 25°C; $CaCO_3 \rightleftharpoons Ca^{2+} + CO_3^{2-}$. This means the concentration of Ca^{2+} ions in the water would be 2.8 mg/L (or around 7 mg $CaCO_3$ /L).

The contact of natural waters with the atmospheric air containing 0.03% CO_2 ($P_{CO_2} = 3 \cdot 10^{-4}$ atm) and its solubility in water of around 50 mg/L at 25 °C leads to the formation of carbonic acid with a small concentration of around 70 mg / L.



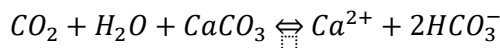
Carbonic acid is a weak acid and it dissociates in two steps:



Thus, the system $CaCO_3 / H_2O$ - atmospheric air contains the following ions: Ca^{2+} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , OH^- and H^+ .

The dissociation constants of H_2CO_3 , K_1 , K_2 , and the solubility product of $CaCO_3$, S_p depend on temperature.

The decrease in the concentration of CO_2 promotes the precipitation of the calcium carbonate in the system while increasing the amount of CO_2 assists in its' dissolution following the equation:



CO_2 is more soluble in cold water, which shifts the reaction toward the production of more carbonic acid and thus, the solution of calcite in the water.

Dissolution of carbonates was noticed in acidic solutions ($pH < 7$) [3].

The total water alkalinity, basically determined by the potentiometric titration with 0.1M HCl, is one of the most important factors in the estimation of the tendency of hard deposit precipitation, basically composed of calcium and magnesium carbonates and/or their sulfates, silicates, and mixtures. With the application of potentiometric (pH) titration (0.1M HCl) and the fact that the quantity of added acid is proportional to the carbonate and bicarbonate quantities in the water, plus the concentration of OH^- ions or minus the amount of the H^+ ions, depending on the water acidity, the following equation can be written:

$$(alk) + (H^+) = 2(CO_3^{2-}) + (HCO_3^-) + (OH^-) \quad (1)$$

In addition to this equation, the dissociation constant of bicarbonates (K_2) and the calcium carbonate product of solubility (S_p) participate in the calculation of the pH value that represents the value of pH in the water in the conditions of equilibrium between $CaCO_3$ precipitate and the saturated solution.

$$pH_s = (pK_2 - pS_p) + p(Ca^{2+}) + p(alk) + \log \left[1 + \frac{2K_2}{(H^+)_s} \right] \quad (2)$$

As the most common pH values for natural waters range between 6 and 8.5, the last term in the previous equation takes very small values and it can be neglected:

$$pH_s = (pK_2 - pS_p) + p(Ca^{2+}) + p(alk) \quad (3)$$

It should be mentioned that the K_2 and S_p values (i.e., pK_2 and pS_p) depend on temperature and the total ionic strength of the solution and their values can be found in the table or nomogram. The term $p(Ca^{2+})$ represents the negative logarithm of the Ca^{2+} ions mole concentration and $p(alk)$ shows the negative logarithm of the alkalis' total concentration in water, determined by the potentiometric titration and given as calcium carbonate.

Based on the calculated pH value of the water (pH_s) and the measured pH value at a given temperature (pH_m), one can calculate the saturation index (SI) as a parameter that qualitatively determines the tendency of water for calcium carbonate scale formation [6].

$$SI = pH_m - pH_s \quad (4)$$

Thus, for $SI > 0$, the water will form hard calcium carbonate precipitates.

Determination of the saturation index facilitates the planning of the approaches to preventing possible damage to industrial equipment and plants.

3. Materials and methods

The saturation index, and thus the potential for precipitation of carbonate precipitates, was determined for thermo-mineral water of Katlanovo Spa, taken from two locations, a spring, and a collecting pool. The chemical composition of water from both places, shown in Table 1, was determined by the Institute for Public Health of the Republic of North Macedonia.

The concentrations of some cations and anions, such as iron, manganese, copper, zinc, lead, cadmium, cobalt, nickel, chromium, arsenic, mercury, strontium, and also, ammonia, nitrates, and nitrites, are not given in Table 1. These cations and anions are present in minimal concentrations in the natural water of Katlanovo Spring following the rulebook for the quality of natural mineral waters, Official Gazette of R. Macedonia number 183/2018.

Conductometry was used to measure the electrolytic conductivity of the spring water and the water from the collecting pool.

Table 1. Chemical composition of thermo-mineral water from spring and collecting pool; analyses done by the Institute for Public Health of the Republic of North Macedonia

Tablela 1. Hemijski sastav termomineralne vode izvorske i sabirni bazen; Institut za javno zdravlje Republike Severne Makedonije

Location	Spring	Collecting pool
pH	7.27	7.88
Dry residue (mg L ⁻¹)	1980	1650
El. Conductivity (293 K, μScm^{-1})	2307	1663
Suspended particles (mg L ⁻¹)	38	37
Chlorides, Cl ⁻ (mg L ⁻¹)	165	162
Sulphates, SO ₄ ⁻ (mg L ⁻¹)	56	55
Fluoride, F ⁻ (mg L ⁻¹)	2.6	2.5
Calcium, Ca ²⁺ (mg L ⁻¹)	359	172
Magnesium, Mg ²⁺ (mg L ⁻¹)	99	114
Silicon dioxide, SiO ₂ (mg L ⁻¹)	750	732
Total water hardness, °dH	74.60	51.8
Carbonate hardness of water, °dH	73.10	49.7
Potassium, K ⁺ (mg L ⁻¹)	158	165
Sodium, Na ⁺ (mg L ⁻¹)	99.9	91.3
M-alkalinity (ml L ⁻¹ ; 0.1M HCl)	261	177
Bicarbonates, HCO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	1588	1080
Free CO ₂ (mg L ⁻¹)	144	/

4. Results and discussion

Based on the data presented in Table 1, the following could be emphasized:

- Thermo-mineral water from Katlanovo Spa is rich in fluorides and belongs to the group of highly mineralized bicarbonate waters.
- This water contains big concentrations of calcium, magnesium, sodium, potassium, and bicarbonates with high hardness, mainly of carbonate origin.
- A reduction in the concentrations of potassium and bicarbonates in the relation spring-collecting pool resulted in the decrease of dry residue, electrical conductivity, and alkalinity of water. Based on this statement, it could be pointed out that the solid deposits formed on the walls of pipes, pools, etc., are mainly composed of calcium carbonates.

Figure 1 shows the temperature dependence of the water's electrical (ionic) conductivity. Considering the lowered concentration of some ions, mainly calcium and bicarbonates, the electrical conductivity of the water from the collecting pool is significantly lower compared to that of the spring water.

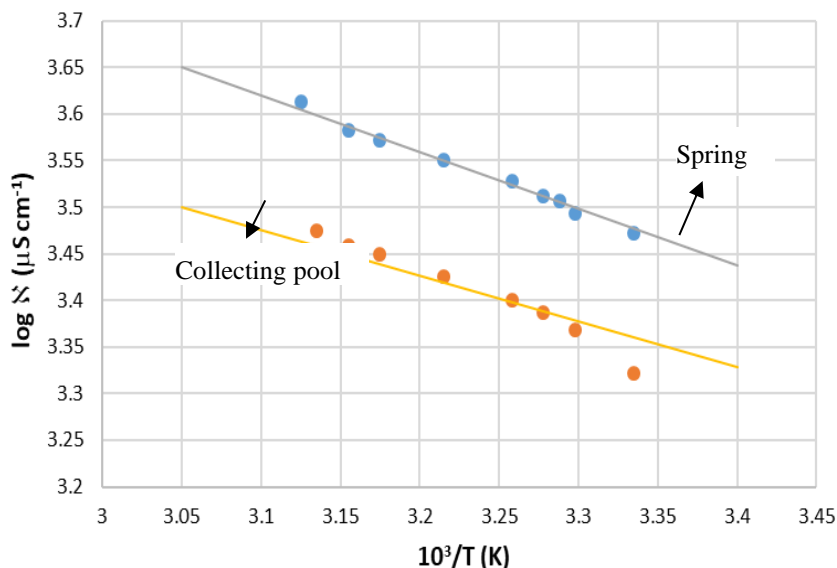


Figure 1. Log κ - $1/T$ dependences of thermo-mineral water from Katlanovo Spa, taken from the spring and collecting pool

Slika 1. Log κ - $1/T$ zavisnosti termomineralne vode Katlanovske banje, uzete sa izvorišta i sabirnog bazena

In both cases, κ - T dependences follow the equation:

$$\kappa = \kappa_0 \exp(-E_a/RT) \quad (5)$$

So that:

$$\kappa = 3.32 \cdot 10^5 \exp(-11.750/RT) \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} \quad \text{for the spring water}$$

$$\kappa = 4.04 \cdot 10^5 \exp(-12.980/RT) \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} \quad \text{for the water in a collecting pool}$$

The activation energy, E_a , for ionic conductivity in both cases takes values between 12 and 13 kJ mol^{-1} , characteristic of the process controlled by the ionic diffusion in the solutions.

The total alkalinity of water, determined by the potentiometric titration (0.1M HCl) from the point of inflection, is one of the most significant factors for the

determination of the potential of hard deposit precipitation, containing primarily carbonates of calcium and magnesium and/or their sulfates, silicates, and mixtures. Water with higher total alkalinity contains bigger concentrations of calcium, hydrocarbonates, and carbonates and shows an increased potential for hard deposit precipitation.

Thermo-mineral water from the spring shows the largest total alkalinity with 250 ml 0.1M HCl/L H₂O in the inflection point, while that in the collecting pool was determined as 145 ml 0.1M HCl/L H₂O, which is a consequence of the calcium concentration decrease as a result of its precipitation in the pipelines in the form of carbonates.

Based on the above-explained procedure and equations 2-4, the saturation indexes of the thermos-mineral water from Katlanovo Spa from the spring and the collecting pool, at 50° and 40°C, were determined as follows:

For the spring water:

$$(pK_2 - pS_p) = 1.78 (50 \text{ }^\circ\text{C}) \text{ and } 1.95 (40 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$p(\text{Ca}^{2+}) = -\log(\text{Ca}^{2+}) = -\log\left(\frac{0.36}{40}\right) = 2.046 (50 \text{ }^\circ\text{ and } 40 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$p(\text{alk}) = -\log(\text{alk}) = -\log\left(\frac{0.025}{2}\right) = 1.9 (50 \text{ }^\circ\text{ and } 40 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$pH_m = 6.84 (50 \text{ }^\circ\text{C}) \text{ and } 6.80 (40 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$SI = 6.84 - (1.78 + 2.046 + 1.90) = 1.114 (50 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$SI = 6.80 - (1.95 + 2.046 + 1.90) = 0.904 (40 \text{ }^\circ\text{C})$$

For the water in the collecting pool:

$$(pK_2 - pS_p) = 1.77 (50 \text{ }^\circ\text{C}) \text{ and } 1.95 (40 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$p(\text{Ca}^{2+}) = -\log(\text{Ca}^{2+}) = -\log\left(\frac{0.172}{40}\right) = 2.37 (50 \text{ }^\circ\text{ and } 40 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$p(\text{alk}) = -\log(\text{alk}) = -\log\left(\frac{0.0145}{2}\right) = 2.14 (50 \text{ }^\circ\text{ and } 40 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$pH_m = 7.63 (50 \text{ }^\circ\text{C}) \text{ and } 7.61 (40 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$SI = 7.63 - (1.77 + 2.37 + 2.14) = 1.35 (50 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$SI = 7.61 - (1.95 + 2.37 + 2.14) = 1.15 (40 \text{ }^\circ\text{C})$$

5. Conclusion

Natural waters often exhibit an affinity to form solid precipitates when transported through pipelines, used in heat exchangers, and stored in reservoirs, resulting in a decrease in the effectiveness of the technological processes and significant energy losses. Saturation index determination, a metric that qualitatively assesses the theoretical tendency of water to precipitate calcium carbonate deposits on contact surfaces, serves as valuable information mitigating potential damage in pipelines and industrial plants.

Determined values of the saturation index for spring water in Katlanovo Spa were 1.114 for 50 °C and 0.904 for 40 °C, while for the water in the collecting pool, 1.35 and 1.15 for 50 °C and 40 °C, respectively.

References

- [1] Kiely, G. *Environmental engineering: fundamentals, environments, technologies and management systems, Volume 2*; McGraw-Hill/Interamericana de Espana, SA, 1999, Madrid, Spain, ISBN 978844812151, 1999.
- [2] Mercer K. L, Lin Y. P. & Singer P. C. Enhancing calcium carbonate precipitation by heterogeneous nucleation during chemical softening. *Journal AWWA*, 97(12), 116-125, 2005.
- [3] Martínez Moya S. & Boluda Botella N, Review of Techniques to Reduce and Prevent Carbonate Scale. Prospecting in Water Treatment by magnetism and Electromagnetism. *Water*, 13, 2365. <https://doi.org/10.3390/w13172365>, 2021.
- [4] Durand N, Monger H. C. & Canti M. G. 9 - Calcium Carbonate Features. In G. Stoops, V. Marcelino, F. Mees (Eds.). *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths* (pp. 149-194), Elsevier, <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53156-8.00009-X>, 2010.
- [5] Kis B. M, Baciú C, Zsigmond A. R, Kékedy-Nagy L, Kármán K, Palcsu L, Máthé I, Harangi S, Constraints on the hydrogeochemistry and origin of the CO₂-rich mineral waters from the Eastern Carpathians – Transylvanian Basin boundary (Romania), *Journal of Hydrology*, 591, 125311, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125311>, 2020.
- [6] Saksono N, Bismo, S, Krisanti E, Manaf A. & Widaningrum R. Pengaruh medan magnet terhadap proses presipitasi CaCO₃ dalam air sadah. makara. *Journal of Technology Series*, 10(2). <https://doi.org/10.7454/mst.v10i2.433>, 2006.

MOGUĆNOSTI PRIMENE PRIRODOM INSPIRISANIH REŠENJA ZA URBANO ODVODNJAVANJE U SRBIJI

POSSIBILITIES OF APPLICATION OF NATURE-BASED SOLUTIONS FOR URBAN DRAINAGE IN SERBIA

ALEKSANDAR ĐUKIĆ¹

BRANISLAVA LEKIĆ²

BRANISLAV BABIĆ³

OGNJEN GOVEDARICA⁴

VLADANA RAJAKOVIĆ OGNJANOVIĆ⁵

Pregledni naučni rad

DOI: 10.5937/VIK24329D

Rezime: U radu je dat osvrt na aktuelne probleme urbanog odvodnjavanja sa aspekta pogoršanja hidrološkog režima usled urbanizacije. Istaknuta je potreba za smanjenjem negativnih uticaja urbanizacije na količine i kvalitet urbanog oticaja. Prikazane su inovativne metode urbanog odvodnjavanja i opšte preporuke za njihovu primenu, kao i zahtevi iz predloga nove direktive EU o gradskim otpadnim vodama koje se odnose na integrisano upravljanje otpadnim i kišnim vodama u gradovima.

Ključne reči: urbani oticaj, kišne vode, zagađenje, kvalitet vode, integrisano upravljanje

Abstract: The paper presents challenges that urban drainage has to solve under altering hydrological regime due to urbanization. The need for reducing the negative impacts of urbanization on the quantity and quality of urban runoff is emphasized. Innovative methods of urban drainage have been presented, together with general recommendations for their application. The requirements from the proposal of the new EU Directive on urban wastewater

¹ Aleksandar Đukić, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd, djukic@grf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0003-3548-989X

² Branislava Lekić, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd, branaj@grf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-3360-2118

³ Branislav Babić, Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd, babic@grf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0003-1224-6297

⁴ Ognjen Govedarica, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd, ogovedarica@grf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-4995-3932

⁵ Vladana Rajaković Ognjanović, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd, vladana@grf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0003-4895-7007

related to the integrated management of urban wastewater, including rainwater, are presented in more detail.

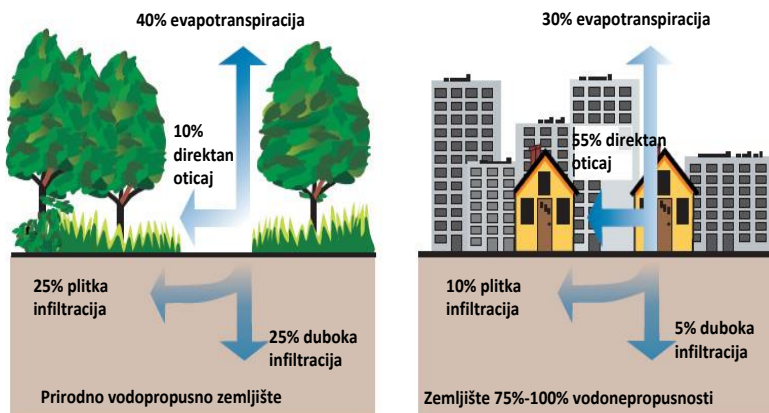
Key Words: urban runoff, rain water, pollution, water quality, integrated management

1. Uvod

Tradicionalni način urbanizacije menja hidrološke karakteristike sliva tako što povećava udeo nepropusnih površina, što znatno povećava koeficijent oticaja sliva, odnosno povećava zapreminu i protok kišnog oticaja, a smanjuje infiltraciju u zemljište i evapotranspiraciju – slika 1 [1]. U isto vreme površinski oticaj se ubrzava tako da se maksimalni protoci površinskog oticaja javljaju ranije u odnosu na oticanje sa površina pre urbanizacije [2].

Na urbanim površinama se talože i akumuliraju materije iz atmosfere, materije donete sa okolnih površina, materije koje potiču od korišćenja motornih vozila i iz drugih izvora [2]. Deo materija se zadržava na površini, deo biva odnešen vetrom ili saobraćajem na drugo mesto, a deo pretrpi transformaciju ili degradaciju. Usled zagađivanja atmosfere izduvnim gasovima iz vozila, emisijom iz kotlova i industrije, materije koje se akumuliraju na urbanim površinama sadrže i produkte sagorevanja, materije nastale habanjem delova vozila, produkte industrijskog zagađenja i drugo. Tokom kiše ove materije bivaju odvojene od podloge i transportovane površinskim oticajem, pri čemu one mogu prolaziti kroz niz transformacija. Ove materije mogu znatno narušiti kvalitet oticaja i ugroziti prirodne vode u koje se izlivaju [2].

Kod urbanih slivova, dominantan udeo oticaja i zagađenja potiče sa nepropusnih površina, kao što su saobraćajnice, trotoari, parkinzi ili krovovi [3].



Slika 1. Uticaji urbanizacije na hidrološki ciklus u gradovima [1]
Figure 1. Impacts of urbanization on hydrological cycle [1]

2. Akumulisanje i spiranje zagađenja sa urbanih površina

Akumulacija zagađenja na nepropusnim površinama odvija se u periodima bez padavina, kada se materije prirodnog i antropogenog porekla sakupljaju na površinama. Akumulacija materija se usporava tokom vremena, tako da se masa zagađenja po jedinici površine asimptotski približava nekom maksimumu, koji zavisi od niza lokalnih faktora kao što su atmosfersko zagađenje, položaj površine u odnosu na izvore zagađenja, karakteristike površine, način korišćenja površine, intenzitet saobraćaja i drugo [4].

Pokretanje zagađenja sa površine je složen proces koji zavisi od niza faktora, uključujući tip i osobine zagađujućih materija, intenzitet kiše i dr. Akumulisanje i spiranje zagađenja opisuju se empirijskim relacijama [2].

Istraživanja ukazuju da oticaj sa urbanih površina može sadržati niz zagađujućih materija antropogenog porekla [1], [2], [4]:

- sadržaj hemijske potrošnje kiseonika (HPK), ukupnog organskog ugljenika (TOC) ili petodnevene biohemijske potrošnje kiseonika (BPK5) imaju niske ili umerene vrednosti, i uglavnom vode poreklo sa zemljišta i zelenih površina;
- suspendovane materije su prisutne u značajnim koncentracijama i imaju tendenciju udruživanja sa drugim zagađenjima teški metali, PAH i dr;
- teški metali su prisutni pretežno u nerastvornom obliku [5] i mogu biti prisutni u kišnom oticaju u širokom opsegu koncentracija, u zavisnosti od načina korišćenja zemljišta, intenziteta saobraćaja i industrijskog zagađenja;
- ulja, masti i naftni ugljovodoniци su prisutni u kišnom oticaju u slučaju akcidentnih zagađenja (udes, curenje ulja i goriva iz motornih vozila, spiranje ulja sa površina u industrijskim postrojenjima);
- jedinjenja azota i fosfora su prisutna u oticaju u visokim koncentracijama ako postoji veće spiranje sa zelenih površina ili specifična aerozagađenja;
- druge specifične zagađujuće materije (PAH, mikropolutanti i dr.) mogu se javiti u površinskom oticaju u zavisnosti lokalnih uslova.

Istraživanja ukazuju na veliku varijabilnost po prostoru i vremenu parametara zagađenja [2], i velike razlike između različitih lokacija. Na primer, istraživanja u južnim i istočnim primorskim područjima SAD ukazuju da namena zemljišta ima značajnu ulogu: zelene površine i industrija generišu veće količine sedimenata (suspendovanih materija), zelene i površine niske gustine stanovanja generišu veće količine fosfora, a saobraćajne i industrijske površine generišu veće količine azota od proseka [6]. Na osnovu obimnih istraživanja sprovedenih u SAD, u tabeli 1 su date tipične vrednosti godišnjih opterećenja zagađenjem od oticaja sa različitih tipova površina [2].

Tabela 1. Godišnja opterećenja zagađenjem oticaja sa različitih površina, kg/ha.god
Table 1. Annual runoff pollution loads from various surfaces, expressed in kg /ha.year

Parametar	Tip površine - način korišćenja zemljišta						
	Komercijalna	Stanovanje (velika gustina)	Stanovanje (srednja gustina)	Stanovanje (niska gustina)	Industrija	Putevi	Parkirališta
TSS	1100	450	270	10	550	1000	450
TP	1,7	1,1	0,4	0,05	1,5	1,0	0,8
TKN	7,5	4,7	2,8	0,3	3,7	8,9	5,7
BPK ₅	70	30	15	1	-	-	53
HPK	470	190	60	10	230	-	300
Pb	3,0	0,9	0,06	0,01	0,2	5,0	0,9
Zn	2,3	0,8	0,1	0,05	0,4	2,3	0,9
Cu	0,4	0,03	0,03	0,01	0,1	0,4	0,07

Poseban izazov predstavljaće klimatske promene. Najnovija istraživanja ukazuju da će se projektanti sistema za sakupljanje i tretman kišnih voda suočavati sa sve većim neizvesnostima u pogledu prostorne i vremenske dinamike kišnih i sušnih perioda u budućnosti. Rezultati pokazuju da globalno zagrevanje od 1,5 do 2°C može uticati na povećanje opterećenja teškim metalima u urbanom kišnom oticaju za skoro 50% [7].

3. Inovativne metode kontrole količine i kvaliteta urbanog oticaja

Svetska iskustva ukazuju da su problemi nastali usled urbanizacije i prekomerne izgradnje nepropusnih površina doveli do učestalih poplava unutrašnjim vodama urbanih područja. Ovo dovodi do uvećanih šteta od poplava, ugrožavanja imovine i života, pri čemu se znatno uvećavaju potrebne investicije za sisteme kišne kanalizacije koji treba da prihvate sve veće količine kišnog oticaja kako bi održali zadati nivo zaštite od poplava unutrašnjim vodama.

Ovo je postepeno dovelo do promena u načinu koncipiranja, izgradnje i rada sistema urbanog odvodnjavanja (kišne kanalizacije) i uvođenja inovativnih metoda u razvijenim zemljama. Inovativni sistemi odvođenja kišnih voda iz urbanih sredina teže ka odvođenju kišnih voda imitirajući prirodne procese.

Za razliku od konvencionalnih sistema, gde se kišna voda sprovodi sistemom vodopropusnih kanala i cevovoda najbržim putem do recipijenta, ovde se teži [8]:

- Smanjenju količina otekle vode sa urbanih površina,

- Povećanju infiltracije - prihranjivanja podzemnih voda (ako je to moguće i prihvatljivo na konkretnoj lokaciji),
- Povećanju evapotranspiracije,
- Poboljšanju kvaliteta kišnog oticaja smanjenjem koncentracije prisutnih zagađujućih materija,
- Ublažavanju uticaja na životnu sredinu i recipijent pri akcidentnim izlivanjima zagađujućih materija,
- Opštem poboljšanju kvaliteta životne sredine i unapređenju estetske i materijalne vrednosti urbanog područja i
- Formiranju prirodnih staništa za divlji svet u urbanim sredinama.

Da bi se uspešno oponašali prirodni procesi pri oticanju i upijanju vode, obično se primenjuju metode zasnovane na nizu podsistema, čime se se dobijaju efikasnija rešenja, jer se koristi niz objekata koji zajedno utiču na smanjenje zapremine otekle vode, vršnog proticaja i koncentracije zagađujućih materija [8].

Na primer, dobri rezultati u kontroli količina i kvaliteta kišnog oticaja sa urbanih površina se mogu postići simultanom primenom niza metoda (npr. zeleni krovovi, vodopropusne površine kolovoza i trotoara, propusni otvoreni kanali, retenzije, biofilteri, infiltracioni rovovi i dr.). Sve ove metode treba inkorporirati pri uređenju i građenju naselja i urbane infrastrukture tako da smanjuju plavljenje kišnim vodama, smanjuju površinski oticaj i uklanjanju deo zagađujućih materija iz kišnog oticaja blizu mesta nastanka čime se unapređuje kvalitet života i životna sredina u naseljima.

Kako ovi sistemi zahtevaju prostor, njihova primena podrazumeva velike promene u koncipiranju urbanističkog razvoja naselja i infrastrukture, gde je osnovni cilj smanjenje ili eliminisanje promena režima voda nastalih usled urbanizacije (kako promena hidrološkog ciklusa voda tako i promena kvaliteta voda).

Ovi inovativni koncepti urbanog odvodnjavanja se različito nazivaju u različitim delovima sveta: „razvoj sa malim uticajima“ u SAD (eng. Low Impact Development – LID), „održivi urbani drenažni sistemi“ u Ujedinjenom Kraljevstvu (eng. Sustainable Urban Drainage Systems – SUDS), „prirodom inspirisana rešenja“ u EU (eng. Nature Based Solutions - NBS), „gradovi osetljivi na vodu“ u Australiji (eng. Water Sensitive Cities) i „gradovi sunderi“ u Kini (eng. Sponge Cities). Svaki od njih ima svoje specifičnosti, ali zajednički im je integrisani pristup upravljanju urbanim vodama, inkorporiranje ciljeva upravljanja kišnim oticajem u pravila uređenja i građenja naselja i zahtev za unapređenjem životne sredine [2].

Pojedine metode za kontrolu količina i kvaliteta oticaja su navedene u naredim poglavljima. S obzirom da rezultati istraživanja ukazuju da emisija zagađenja pr-

venstveno zavisi od visine kiše [9], mere i tehnička rešenja moraju biti usmerena ka smanjenju (kontroli) oticaja i kontroli kvaliteta oticaja od kiše određene ukupne visine padavina, najčešće od 12,5 do 25 mm [10].

U skladu sa navedenim, istraživanja pokazuju da zahvatanje i prečišćavanje manjih kiša koje se češće javljaju može dati dobre ukupne efekte zaštite voda i zemljišta od zagađenja, uz niže investicije, npr. kiše koje se javljaju nekoliko puta godišnje [2].

3.1. Kontrola količina otekle vode

Postoji niz procesa koji se mogu upotrebiti za kontrolu oticaja. Svaka od opcija upravljanja oteklih količina voda ima svoje prednosti, mane i ograničenja. U zavisnosti od traženih kriterijuma, može se postići kontrola otekle vode, umanjeње rizika od poplava, zadržavanje vode i/ili prihranjivanje podzemnih voda kroz [8]:

a) Infiltraciju - očeđivanje vode kroz zemlju. U slučaju da postoju rizik od zagađenja podzemnih voda, treba pribeći drugim rešenjima.

b) Zadržavanje vode - prihvatanje ili usporavanje toka vode (povremeno plavne površine, lagune ili podzemne retenzije). Ovom metodom se postiže smanjenje pika poplavnog talasa, ali se ne smanjuju količine otekle vode.

c) Transport vode koji se se može izvesti površinskim kanalima, ukopanim cevima ili rovovima. U cilju smanjenja količina otekle vode kanali za odvod vode mogu se predvideti sa propusnim dnom (npr zatravnjeni kanali).

d) Korišćenje kišnih voda - kada je to moguće i opravdano kišne vode se mogu koristiti za navodnjavanje, pranje ulica ili u druge svrhe, u zavisnosti od lokalnih uslova. Neophodno je dimenzionisati prostor za zadržavanje ove vode sa malom verovatnoćom da će doći do preliivanja.

Prevenција je potencijalno efikasna, s tim da je potrebno pravilno planiranje i implemetnacija rešenja koja se zasnivaju na primeni nekoliko jednostavnih osnovnih pravila koje treba primenjivati za odvodnjavanje gradova:

- Minimizirati gradnju nepropusnih površina (pločnici, asfalt);
- Oticaj usmeravati, gde je moguće, na travnjake i propusne površine;
- Ako plavljenje nije moguće izbeći, identifikovati površine koje će se kontrolisano plaviti pri jakim kišama, propisno ih označiti i održavati;
- Priminiti zelene krovove gde je to opravdano.

3.2. Kontrola kvaliteta otekle vode

Postoji niz metoda koje se koriste za prečišćavanje kišne vode. Metode se mogu i kombinovati na različite načine, a najčešće korišćene metode su [8]: taloženje,

filtracija, biofiltracija, adsorpcija, biodegradacija, isparavanje, precipitacija, upijanje biljkama, nitrifikacija, fotoliza i dr.

Primena pojedinih metoda prečišćavanja je uslovljena nizom faktora, kao što su efikasnost i ekonomičnost. Za unapređenje kvaliteta kišnog oticaja u gradovima neophodno je je primeniti i sledeće mere prevencije nastajanja zagađenja:

- Identifikovati moguće izvore zagađenja i sprečiti izlivanje zagađenja na mestu njegovog potencijanog nastanka;
- Čišćenje ulica potrebno je izvoditi mehaničkim putem (usisavanje/sakupljanje materija), a ne ispiranjem vodom, čime se izbegava povećano i ubrzano odnošenje zagađujućih materija u vodoprijemnike;
- Sprovoditi aktivnosti usmerene ka smanjenju erozije zelenih površina;
- Unapređivati kvalitet vazduha (dugoročni cilj).

3.3. Prednosti i nedostaci inovativnih metoda kontrole oticaja

Iskustva u primeni navedenih sistema u našim gradovima još uvek ne postoje, a na osnovu iskustava u gradovima Evrope, Severne Amerike i Dalekog istoka, mogu se sažeti prednosti primene ovih metoda:

- Efikasna zaštita od plavljenja unutrašnjim vodama;
- Smanjenje investicija i operativnih troškova nizvodnih sistema za kanalisanje kišnih voda;
- Kontrola kvaliteta kišnog oticaja;
- Smanjenje efekata „toplotnih ostrva“ u gradovima;
- Poboljšanje stepena zaštite okoline i recipijenta u slučaju redovnih i akcidentnih izlivanja zagađenja;
- Prihranjivanje podzemnih akvifera (gde god je moguće i poželjno);
- Poboljšanje ekoloških uslova povećanjem udela zelenih površina, otvorenih vodenih površina i formiranjem staništa za biljni i životinjski svet;
- Uvećanje cene okolnog zemljišta i nekretnina.

Savremena istraživanja ukazuju da nove metode za kontrolu oticaja, kada su dobro projektovane, izvedene i održavane, pored efekata na smanjenje oticaja imaju i pozitivne efekte na kvalitet vode.

Iako su ove metode prvenstveno fokusirane na uklanjanje suspendovanih materija iz oticaja, paralelno se odvija i niz hemijskih i bioloških reakcija koje poboljšavaju kvalitet vode. Potrebna su dalja istraživanja za puno razumevanje ovih dodatnih mehanizama prečišćavanja i kvantifikaciju njihovih efekata [11].

Međutim, primena inovativnih sistema ima i svoje nedostatke, koji se prvenstveno ogledaju u višim investicionim ulaganjima u poređenju sa konvencionalnim sistemima kišne kanalizacije, složenije aktivnosti i više cene održavanja, veći zahtevi za prostorom, a otvorene vodene površine kod retenzija i laguna za kišnicu nose sa sobom rizik od utapanja.

Korisna upotreba kišnog oticaja sa urbanih površina kao tehničke vode je uspešno demonstrirana u nizu država u svetu, ali u pogledu upotrebe vode za piće postoji nedostatak regulatornog okvira i neizvesnosti u pogledu kvaliteta kišnih voda, posebno u pogledu patogena i specifičnih polutanata od značaja za snabdevanje vodom za piće [12].

4. Zaključna razmatranja

Velika prostorna i vremenska promenljivost svih parametara površinskog oticaja, kao i činjenica da većina zagađenja koje se spira oticajem potiče iz rasutih izvora zagađenja, predstavlja teškoću u uspostavljanju pravila i zahteva u pogledu kontrole i smanjenja zagađenja od urbanog oticaja. Stoga, uvođenje graničnih vrednosti emisije, odnosno maksimalnih dozvoljenih koncentracija parametara u kišnom oticaju koji se ispušta u vodoprijemnike, ne deluje kao opravdano i praktično primenjivo u praksi.

Pristup ovoj problematici u zakonodavstvu EU, a delom i u Srbiji, je da sva ispuštanja u vode budu takva da ne naruše dobar status vodnih tela. Ovo ukazuje da je krajnji cilj smanjenje negativnih uticaja od ljudskih aktivnosti, što podrazumeva da se u prvom koraku moraju odrediti hidrološki i ekološki uslovi na slivu bez urbanizacije, a zatim primenom odgovarajućih mera se negativni uticaji urbanizacije i drugih ljudskih aktivnosti kontrolišu.

Rezultati niza sprovedenih istraživanja u svetu i kod nas ukazuju da emisija zagađenja oticajem sa urbanih slivova prvenstveno zavisi od visine kiše, tako da mere i tehnička rešenja moraju biti usmerene ka smanjenju (kontroli) oticaja i kontroli kvaliteta oticaja od kiše određene ukupne visine padavina, određene prema specifičnostima konkretnog sliva i karakteristikama vodoprijemnika.

Od tehničkih rešenja, koja bi doprinela ostvarenju ovakvih ciljeva, nameću se sistemi za simultanu kontrolu količina i kvaliteta oticaja, jer se upravo na taj način smanjuju izmene prirodnog hidrološkog režima usled urbanizacije. Primena ovih mera u našim uslovima zahtevaće radikalne promene koncepta upravljanja kišnim vodama u naseljima.

Ovo će zahtevati ne samo izgradnju kišne kanalizacije već i primenu zelene infrastrukture, intenzivan monitoring kanalizacije i prirodnih voda i primenu inovativnih metoda za upravljanje oticajem u urbanim sredinama.

Takođe, biće neophodne i velike promene u urbanističkom planiranju i uređenju prostora u naseljima zbog izraženih prostornih zahteva inovativnih sistema i potrebe da oni budu pravilno inkorporirani u infrastrukturu naselja. Sve ovo će zahtevati usvajanje novih znanja i veština svih učesnika u procesu urbanističkog planiranja i projektovanja urbane hidrotehničke infrastrukture.

5. Zahvalnica

Istraživanje je finansijski podržano od strane Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, broj ugovora 451-03-65/2024-03/200092.

6. Literatura

- [1] Federal Interagency Stream Restoration Working Group. Stream Corridor Restoration: Principles, *Processes, and Practices*, 1998.
- [2] Hvitved-Jacobsen T, Vollertsen J, Nielsen A. *Urban and Highway Stormwater Pollution-concepts and Engineering*. CRC Press. Taylor&Francis Group, Boca Raton, FL, USA, 2010.
- [3] Revitt D. M, Lundy L, Coulon F, Fairley M. The sources, impact and management of car park runoff pollution: a review. *Journal of Environmental Management* , 146, 552e567, 2014.
- [4] James W, Rossman L. A, James W. R. C. *User's guide to SWMM 5*, 13th Edition, Published by CHI, Guelph, Ontario, Canada. 2010.
- [5] Đukić A, Lekić B, Rajaković-Ognjanović V, Veljović Đ, Vulić T, Đolić M, Naunović Z, Despotović J, Prodanović D, Further Insight into the Mechanism of Heavy Metals Partitioning in Stormwater Runoff, *Journal of Environmental Management*, 168, 104-110, 2016b
- [6] Yazdi M. N, Sample D. J, Scott D, Wang X, Ketabchy M. The effects of land use characteristics on urban stormwater quality and watershed pollutant loads. *Science of the Total Environment* 773 (2021) 145358. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.-145358, 2021.
- [7] Wijesiri B, Liu A, Goonetilleke A. Impact of global warming on urban stormwater quality: From the perspective of an alternative water resource. *Journal of Cleaner Production* 262 (2020) 121330. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121330, 2020.
- [8] Woods-Ballard, B, Kellagher, R, Martin, P, Jefferies, C, Bray, R, Shaffer, P. *The SUDS manual*, CIRIA C697, 2007.
- [9] Đukić A. *Modeliranje emisije zagađenja sa urbanih slivova*, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, Beograd, 2016.
- [10] U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Hydraulic Engineering Circular No. 22, Second Edition, *Urban Drainage Design Manual*, 2001.

- [11] Gavrić S, Leonhardt G, Marsalek J, Viklander M. Processes improving urban stormwater quality in grass swales and filter strips: A review of research findings. *Science of the Total Environment* 669 (2019) 431–447. DOI: 10.1016/j.scitotenv.-2019.03.072, 2019.
- [12] Luthy R. G, Sharvelle S, Dillon P. Urban Stormwater to Enhance Water Supply. *Environ. Sci. Technol.* 2019, 53, 5534–5542, DOI: 10.1021/acs.est.8b05913, 2019.

PRIMENA INFILTRACIJE I EKSFILTRACIJE U SISTEMIMA KIŠNE KANALIZACIJE

APPLICATION OF INFILTRATION AND EXFILTRATION IN RAIN SEWAGE SYSTEMS

ŽELJKA OSTOJIC¹
MILOŠ STANIĆ²
STRAHINJA NIKOLIĆ³
SANJA MARČETA⁴
NEMANJA RAK⁵

Stručni rad
DOI: 10.5937/VIK243390

Rezime: Primena eksfiltracije i infiltracije uz kombinovanje drenažnih cevi i rovova sa šljunkom sa elementima klasičnih sistema gradske kišne kanalizacije doprinosi smanjenju zapremine oticaja, poboljšanju njegovog kvaliteta i unapređenju životne sredine u uslovima urbanog okruženja. Ovakav pristup nije dovoljno zastupljen u projektantskoj praksi, a trenutno nema jasnih smernica koje bi olakšale širu primenu ovakvih rešenja u svakodnevnoj praksi. Izrada ovakvih smernica zahteva angažovanje velikog broja stručnjaka i to ne samo prostornih planera, urbanista, pejzažnih arhitekata i projekatana različitih struka, već i podršku nadležnih vodoprivrednih organizacija i ministarstava, s obzirom na veliki broj otvorenih pitanja. Problem se komplikuje u uslovima gradskog okruženja sa karakterističnom raznolikošću urbanih sadržaja i uslova formiranja oticaja. U radu su dati primeri mogućnosti kombinovanja infiltraciono-eksfiltracionih sistema sa sistema klasične kišne kanalizacije u gradskim uslovima.

Ključne reči: infiltracija, eksfiltracija, upravljanje kišnim oticajem

¹ Željka Ostojić, Hidroprojekat saobraćaj, Vele Nigrinove 16a, Beograd, zeljka.ostojic-61@gmail.com, ORCID: 0009-0000-5492-8179

² Miloš Stanić, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd mstanic@grf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-3410-2393

³ Strahinja Nikolić, Hidroprojekat saobraćaj, Vele Nigrinove 16a, Beograd, strahinja.nikolic@hps.rs, ORCID: 0009-0003-3906-1601

⁴ Sanja Marčeta, Hidroprojekat saobraćaj, Vele Nigrinove 16a, Beograd, sanja.marceta@hps.rs, ORCID: 0009-0007-7129-1238

⁵ Nemanja Rak, Hidroprojekat saobraćaj, Vele Nigrinove 16a, Beograd, nemanja.rak@hps.rs, ORCID: 0009-0008-4196-8890

The application of exfiltration and infiltration with the combination of perforated pipes and gravel trenches with the classic city rain sewerage systems elements contributes in the runoff volume reduction, also in improving runoff quality and environment improving in the conditions of an urban environment. This approach is not sufficiently represented in design practice, and there are currently no clear guidelines that would facilitate the wider application of such solutions in everyday design practice. The development of such guidelines requires the engagement of a large number of experts, not only spatial planners, urban planners, landscape architects and designers of various professions, but also the support of competent water management organizations and ministries, given the large number of open issues. The problem is also more complicate in the conditions of urban environment with diversity of urban contents and various runoff development conditions.

The paper gives examples of the possibility of combining infiltration-exfiltration systems with classic rain sewerage systems in urban conditions.

Key Words: infiltration, exfiltration, rainwater runoff management

1. Uvod

Urbanizacija menja hidrološki ciklus povećavajući zapreminu površinske vode i vršni protok. U savremenim sistemima kišne kanalizacije se potencira što duže zadržavanje vode u urbanom slivu, primenom mera i elemenata koji oponašaju prirodno okruženje. U pogledu količina kišnih voda, savremeni pristup predviđa da maksimalni oticaj posle izgradnje sistema za odvođenje atmosferskih voda, ne bude veći od oticaja pre izgradnje sistema, a što se tiče kvaliteta vode postavljeni kriterijum je da kvalitet vode posle izgradnje sistema bude bolji od zatečenog.

Svaki sistem za kanalisane kišnih voda, bilo da je projektovan po klasičnom ili savremenom pristupu, sadrži podzemni deo (minor sistem) i nadzemni deo (major sistem), a može se posmatrati kroz osnovni, prošireni i kompleksni kanalizacioni sistem. Osnovnom sistemu pripadaju objekti koji primaju i odvođe merodavne kišne vode propisanog povratnog perioda (2, 5 ili 10 godina), prošireni sistem čine i ulice, parkinzi, parkovi i otvoreni prostori sa ulogom da prihvate višak vode koji ne može da primi osnovni sistem, pa su u određenim slučajevima merodavni oticaji povratnog perioda od 25 do 100 godina (povratni periodi karakteristični za proračune plavljenja). Kompleksni kanalizacioni sistem, obuhvata sve prirodne i izgrađene terene u koje kišni oticaj dospeva po prevazilaženju kapaciteta proširenog sistema.

Ne postoji univerzalna tipologija elemenata savremenih kanalizacionih sistema koji koriste procese infiltracije i retenziranja posebno ili u kombinaciji sa ponovnom upotrebom atmosferske vode. Posledica je da elementi sa istom hidrološkom funkcijom imaju različite nazive u sistemu, u zavisnosti od primenjene tipologije.

WSUD (engl. Water Sensitive Urban Design) prepoznaje sledeće elemente kanalizacionog sistema: 1) ozelenjene plitke linijske ili površinske depresije, bez ili sa vodom (engl. swales); 2) ozelenjeni filterski tampon rovovi; 3) peščani filteri; 4)

bioretenzioni sistemi; 5) porozna popločanja; 6) infiltracioni kanali; 7) infiltracioni bazeni; 8) rezervoari za kišnicu; i 9) elementi pejzažne arhitekture.

SUDS (engl. Sustainable Urban Drainage Schemes), ima sledeću podelu elemenata sistema: 1) porozno popločanje (pešačkih komunikacija i drugih površina); 2) filterski pojasevi; 3) filterski i infiltracioni rovovi; 4) ozelenjene plitke linijske ili površinske depresije (sa ili bez vode); 5) retenzioni bazeni; 6) podzemni rezervoari za skladištenje kišnice; 7) močvare; i 8) male površine za stajaću vodu (engl. ponds).

2. Klasifikacija kriterijuma za kontrolu sistema kišne kanalizacije

Kriterijumi za dimenzionisanje, modeliranje, kontrolu, upravljanje i održavanje sistema za prikupljanje, odvođenje i prečišćavanje atmosferskih voda nisu jasno definisani, pa je samim tim u ovoj oblasti otežano donošenje odluka, a parcijalna rešenja do kojih se dolazi korišćenjem subjektivnih kriterijuma je uobičajna praksa. Nedostatak uputstava i standarda u ovoj oblasti je lako objasniti činjenicom da se za svako primenjeno rešenje pojavljuje veliki broj limitirajućih urbanističkih i hidroloških parametara, čije selektivno poštovanje vodi ka usvajanju rešenja koja zadovoljavaju samo jedan od njih.

Osnovni kriterijumi dimenzionisanja i modeliranja sistema se vezuju za tip objekta i njihovu hidrološko-hidrauličku funkciju u sistemu za prikupljanje, odvođenje i prečišćavanje kišnog oticaja.

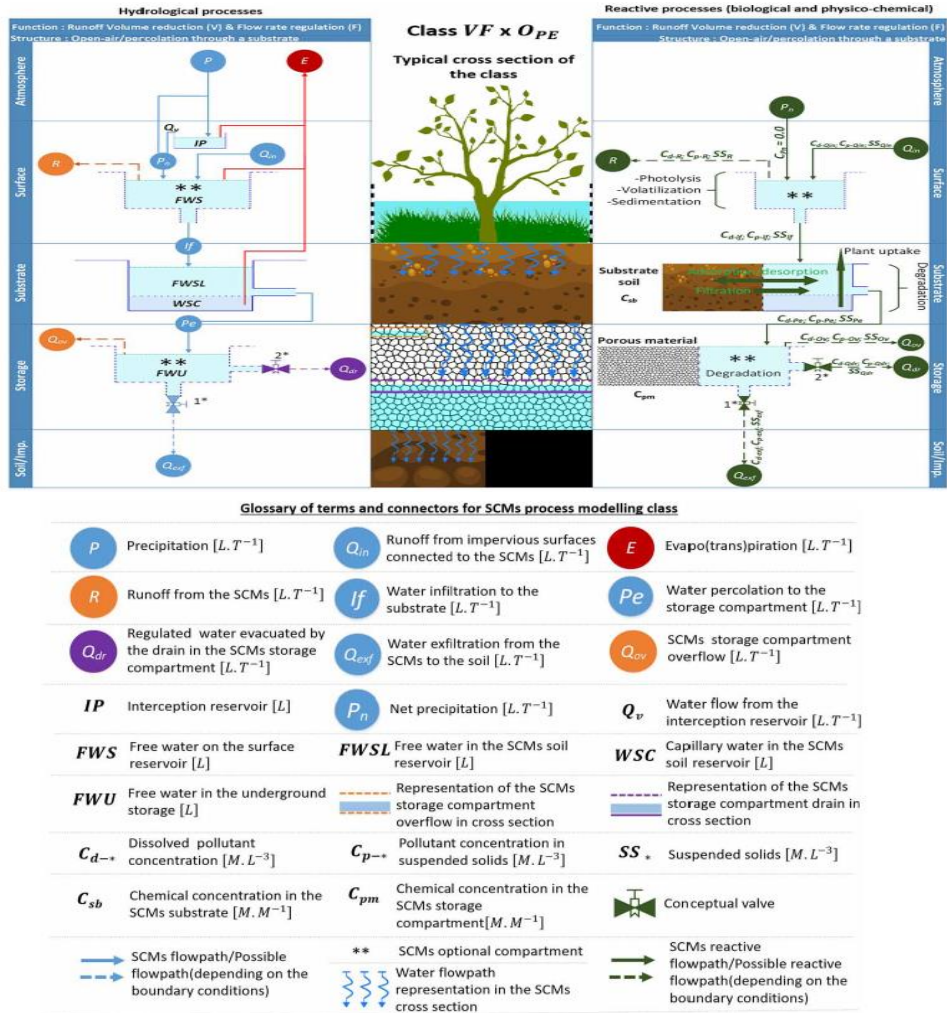
Tip objekta (objekat na otvorenom za kontrolu površinskog oticaja, sa ili bez proceđivanja kroz supstrat ili podzemni objekat do kog oticaj dospeva centralizovano kolektorom ili decentralizovano - propusnom površinom)

Definisanom tipu objekta se mogu priključiti sledeći urbanistički parametri:

- Lokacija objekata kanizacionog sistema (javno ili privatno zemljište-iznad, unutar ili ispod objekta, uređenog ili slobodnog zemljišta)
- Način korišćenja zemljišta na lokaciji objekta kanizacionog sistema /urbano jezgro grada, poslovne ili stambene četvrti, putevi ili parkinzi, trgovi ili dvorišta, parkovi i bašte uz uzimanje u obzir elemenata topografije, infiltracionog kapaciteta zemljišta, prisustva zelenih površina i vodenih tela)
- Specifičnosti mikrolokacije objekta (vegetacija, postojanje prirodnih površinskih ili podzemnih vodnih tela).

Hidrološka funkcija objekta (smanjenje zapremine oticanja, regulacija protoka i transport). Smanjenje zapremine oticaja se postiže prikupljanjem i/ili korišćenjem kišnice kao tehničke vode, evapotranspiracijom i eksfiltracijom. Za realizaciju ove funkcije je važno razlikovati površinski difuzni dotok u sistem (propusni kolovoz, sa susednih površina preko travnate trake), podzemni difuzni (iz drenažnog rova),

površinski ili podzemni koncentrisani dotok (iz sistema kolektora ili sa susednih površina).



Slika 1. Hidrološki i fizičko-hemijski procesi po tipovima rezervoara za sistem kišne kanalizacije (** su označene neobavezne komponente) za objekte klase VF/OPE

Figure 1. Hydrological and physical-chemical processes by reservoir type for the storm sewer system (** optional components are marked) for facilities of the VF/OPE class

Regulacija protoka se realizuje retenziranjem sa ili bez ekfiltracije. Retenziranje prikupljenog oticanja može biti na površini ili pod zemljom. Podzemno retenziranje je različito u poroznoj sredini u kojoj se realizuje slobodno tečenje i u zemljištima sa kohezijom (gde postoje i slobodni i kapilarni tok vode).

Transport i ispuštanje u recipijent je funkcija pri kojoj treba razlikovati površinski ili podzemni transport i ispust u podzemni ili površinski recipijent. U oba slučaja se razlikuju režimi pražnjenja sa izuzimanjem vode (infiltracija, evapotranspiracija ili korišćenje vode) i režimi pražnjenja bez izuzimanja vode u nizvodnom profilu (prelivanje ili regulisani oticaj, podzemni odvod povezan sa kanalizacijom).

Hidrološka funkcija objekta je povezana sa učestalošću i intenzitetom pojedinih kišnih epizoda definisanoj preko ukupne sume padavina (mm) ili povratnog perioda (godina) merodavnih pljuskova. Za padavine manjeg intenziteta ciljevi kontrole su povezani sa kontrolom infiltracije, popunjavanja rezervi podzemne vode, a kod ekstremno jakih pljuskova sa kontrolom rada pod pritiskom i kontrolom plavljenja.

Jednostavna klasifikacija objekata i njihove funkcije u osnovnom, proširenom ili kompleksnom kanalizacionom sistemu, je preduslov za modeliranje elemenata sistema i upravljanje proticajem i kvalitetom vode u sistemu. Prema podacima iz literature preporučuje se klasifikacija procesa prema mestu gde se oni dešavaju, a to je jedan od sledeća 4 tipa rezervoara:

Rezervoari tipa 1 - kontrola direktnog ulaska padavina u sistem – plavi i/izeljeni krovovi, vegetacija.

Rezervoari tipa 2 – skladištenje oticaja na površini terena (nadzemni linijski tehnički elementi) - zemljani, zatravljeni kanali, plitke linijske ili površinske depresije retenzije sa ili bez preliva, infiltracioni kanali, porozna popločanja.

Rezervoari tipa 3 - voda u gornjem sloju tla/supstratu (slobodna i kapilarna voda) - bioretenzije, ozelenjeni filterski tampon rovovi, peščani filteri.

Rezervoari tipa 4 - podzemne vode sa slobodnom površinom u poroznoj sredini - granica tla zasićenog vodom.

Izdvajamo sledeće klase objekata koje su povezane sa njihovom hidrološkom funkcijom:

Klasa VF/OPE objekti na površini sa funkcijama smanjenja zapremine oticaja i regulisanja proticaja, uz obavezan sadržaj supstrata:

Smanjenje zapremine oticaja evapotranspiracijom vode infiltrirane u suptrat

Zeleni krovovi (intenzivni, poluintenzivni i ekstenzivni), zeleni zidovi, kutije za sadnju, kao i parkirališta sa vegetacijom. Najveći deo oticaja se skladišti u re-

zervoaru tipa 3 za vegetaciju i supstrat i evakuise kasnije, uglavnom evapotranspiracijom, a viškovi zahtevaju drenažu ili preliv.

Dodatni sloj za skladištenje – rezervoar tipa 4 (rezerva vode za biljke) može biti predviđen ispod podloge ili na vrhu objekta. Dno je ili nepropusno (betonska ploča) ili pokazuje veoma nisku propusnost (zbijeno glineno tlo) - eksfiltracija je zanemarljiva.

Smanjenje zapremine oticaja eksfiltracijom vode iz supstrata

Sistemi za bioretenciju bez obloge (kišne bašte, kutije za drveće, filteri, biofiltere, bazeni za infiltraciju). Veći deo zapremine oticanja se infiltrira kroz supstrat – rezervoar tipa 3, sa (npr. bioretencione ćelije, bioretenciona jezera, infiltracijski bazeni) ili bez (npr. parkinzi sa vegetacijom) zapremine za prethodno skladištenje na površini – rezervoar tipa 2, a manji deo se evakuise evapotranspiracijom. Deo za supstrat se može predvideti od posebno projektovanog supstrata (za potrebe uklanjanja zagađenja), ili zemlje za potrebe sadnje, kao i od prirodnog gornjeg sloja zemlje koji se formira tokom vremena. Podzemni deo za skladištenje – rezervoar tipa 4 je opcionalna mogućnost i koristiće se ako tlo nije dovoljno propusno, za poboljšanje eksfiltracije. Evapotranspiracija je ograničena količinom vode koja se može uskladištiti kroz rezervoar tipa 2 na površini, što može biti od značaja.

Regulacija proticaja i smanjenje zapremine oticaja infiltracijom kroz supstrat, uz preliv ka kanalizacionom sistemu, sa ili bez sakupljanja u donjem odvodu, sa ili bez ispuštanja u površinski tok (obično preko atmosferske kanalizacije)

Oticaj se ne može eksfiltrirati u prirodno zemljište, deo se zadržava u supstratu i kasnije evakuise evapotranspiracijom, povraćaj vode u tlo je dominantan, posebno za jače padavine i tokom zimskog perioda kada je transpiracija ograničena. Ograničenje protoka ka kanalizaciji se postiže ograničavanjem propustljivosti podloge i/ili preko uređaja za kontrolu protoka.

Klasa VF/OSU: objekti na površini sa funkcijama smanjenja zapremine oticaja i regulacije proticaja uz upravljanje površinskim oticajem, bez korišćenja supstrata

Smanjenje zapremine oticanja u otvorenim tokovima uz evapotranspiraciju

Deo kišnice/oticanja se skladišti u delovima vegetacije i prirodnog tla zemljišta-rezervoar tipa 1 i evakuise evapotranspiracijom. Ovoj grupi objekata pripadaju određene konfiguracije kišnih bašti, malih jezeraca ili neke nedrenirane žardinjere, bez elemenata drenaže, dominantan je rezervoar tipa 2.

Smanjenje zapremine oticanja u otvorenim tokovima uz eksfiltraciju

Oticaj se evakuise infiltracijom u slobodno tlo. Podzemni deo objekta nema deo za skladištenje, a samim tim nema kapilarnog toka između gornjeg sloja supstrata i

podzemlja. Ublažavanje oticaja se postiže kombinovanim radom površinskog objekta i prirodnog tla na kome se nalazi - kišne bašte i bazeni za infiltraciju.

Regulacija oticanja i eksfiltracija u otvorenim tokovima sa odvodom u kanalizaciju

Oticaj se zadržava na tlu i skladišti u površinskom delu sa vegetacijom - rezervoar tipa 2 (infiltracioni bazeni, lokalne depresije). Najveći deo se evakuše regulisanim protokom u kanalizacionu mrežu, a ostatak se infiltrira u prirodni gornji sloj tla. Različiti tipovi obloženih vodonepropusnih objekata (retencione bare, nepropusni bazeni za zadržavanje, obložene akumulacije). Nepropusna obloga može biti vidljiva ili prekrivena malim slojem na vegetiranom tlu.

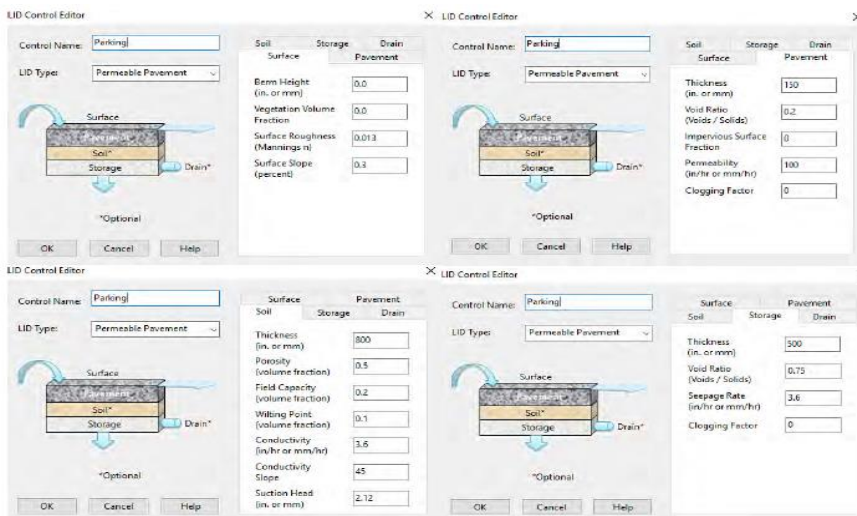
Klasa T/OSU: objekti na površini sa funkcijom transporta vode.

Transport oticaja u otvorenim tokovima

Zemljani kanali, jezera i jarkovi sa vegetacijom. Oticaj se prikuplja u površinskom odeljku i transportuje nizvodno, deo se infiltrira kroz površinsko prirodno zemljište. Ove tehnike se mogu koristiti za evakuaciju oticanja u slučaju ekstremnih padavina koje prevazilaze ciljeve upravljanja u okviru proširenog sistema.

Klasa VF/UPP: podzemni objekti sa funkcijama smanjenja zapremine oticaja i regulacije proticaja za koje postoji decentralizovani dotok u podzemni kanalizacioni sistem

Smanjenje zapremine oticanja putem eksfiltracije u podzemnim objektima kanalizacionog sistema koji se napajaju oticajem preko propusnih površina



*Slika 2. Modeliranje propusnog trotoara u SWMM
Figure 2. Permeable pavement modeling in SWMM*

Za ovu grupu objekata se padavine velikog intenziteta i potencijalno oticanje sa susednih površina infiltriraju kroz propusne površine koje nemaju vegetaciju (propusni trotoari) - rezervoar tipa 2, a evakuišu kroz podzemni deo za retenziranje - rezervoar tipa 4 (infiltracioni rov sa geotekstilom ili infiltraciona kutija) i na kraju eksfiltriraju u prirodno okolno zemljište.

Smanjenje zapremine oticanja putem eksfiltracije i regulacija protoka u podzemnim objektima koji se napajaju propusnom površinom uz korišćenje preliva u kanalizacionu mrežu

Ukupan oticaj ne može eksfiltrirati u prirodno tlo, pa se koristi regulisani preliv u kanalizacionu mrežu. Deo za retenziranje - rezervoar 4 može biti potpuno vodootporan, eksfiltracija je sprečena i cela zapremina oticaja predstavlja regulisani dotok u kanalizacionu mrežu, pa se u ovom slučaju radi samo o regulisanju proticaja.

Klasa VF/ UPI: podzemni objekti sa funkcijama smanjenja zapremine oticaja i regulacije protoka za koje postoji centralizovani dotok u podzemni kanalizacioni sistem

Smanjenje zapremine oticanja i regulacija proticaja putem sakupljanja kišnice

Ova kategorija objekata odgovara različitim tipovima sistema za prikupljanje kišnice: burad za kišnicu, rezervoari za kišnicu i cisterne, koje skladište kišnicu, koja dolazi sa krovova ili sa drugih nepropusnih površina u zatvorenom prostoru, koji ne dozvoljava razmenu sa atmosferom - rezervoar tipa 5.



Slika 3. Rezervoari za prikupljanje, skladištenje i kontrolisano ispuštanje kišnice

Figure 3. Reservoirs for collection, storage and controlled rainwater release

Smanjenje zapremine oticaja putem eksfiltracije u okolno tlo iz podzemnih infiltracionih kutija koje se snabdevaju oticajem preko kolektora

Podrazumeva se privremeno skladištenje vode u podzemnim retenzijama koje se snabdevaju vodom iz kolektora kišne kanalizacije, pre nego što ga eksfiltriraju u

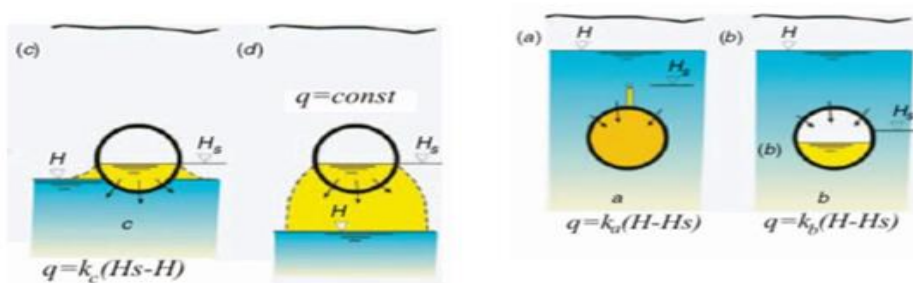
okolno prirodno tlo (podzemna infiltracija, podzemni rezervoari, infiltracioni bunari i rovovi).

Smanjenje zapremine oticaja i regulacija protoka u podzemnim kanalizacionim sistemima koji se napajaju vodom iz kolektora u slučaju kada se sav prikupljeni oticaj ne može eksfiltrirati u prirodno tlo, pa se deo regulisanog proticaja upušta u kanalizacionu mrežu.

Regulacija protoka u podzemnim kanalizacionim sistemima koji se napajaju iz kolektora, koji imaju podzemni deo za retenziranje potpuno vodonepropusan, eksfiltracija je potpuno sprečena i cela zapremina oticanja se evakuise kao regulisani dotok u kanalizacionu mrežu.

3. Infiltracija i eksfiltracija u transportu oticaja – kolektori kišne kanalizacije

Infiltracija/doticaj i eksfiltracija/gubitak vode iz kanalizacionih kolektora su interaktivni procesi koji se ne mogu u potpunosti sprečiti tokom rada gravitacionih kanalizacionih kolektora. Infiltracija se uglavnom javlja kada podzemna voda uđe u kanalizacioni sistem kroz pukotine, spojeve dotrajale cevi, otvore na poklopcima šahtova ili iz zasipa rova, do koga dospeva usled povišenih nivoa podzemne vode tokom epizoda sa pljuskovima. Spori oticaj u zasipu kanalizacionog rova se javlja dugo nakon prestanka padavina. Procena količine infiltrirane vode varira u širokom opsegu od 30 do 160 m³/dan po km mreže, ili 2,3 do 11,5 m³/ha drenirane površine naselja (ATV).



Slika 4. Infiltracija i eksfiltracija - kolektora kišne kanalizacije

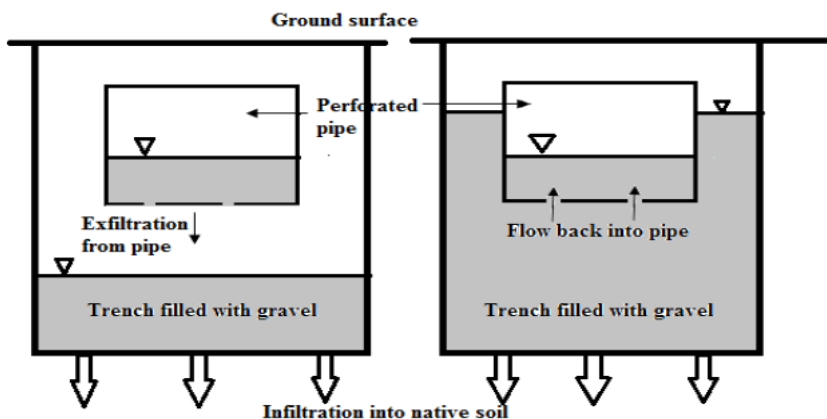
Figure 4. Infiltration and exfiltration - rainwater collectors

Eksfiltracija se, s druge strane, odnosi na curenje otpadnih voda iz kanalizacionog sistema u okolno zemljište ili podzemne vode, što dovodi do zagađenja. Intenzitet ovog procesa je često limitiran pojavom slojeva kolmacije i začepjenja otvora i spojeva, čije uklanjanje pri povećanju brzina u kolektoru i predstavlja jedan od osnovnih faktora povećanja intenziteta eksfiltracije. Obe pojave mogu dovesti do različitih problema, uključujući propadanje kanalizacionih kolektora, pojavu

nestabilnost tla i zagađenje životne sredine. U projektantskoj praksi nema uputstava za upravljanje ovim procesima, kako u sistemima opšteg, tako i u sistemima separacionog kanaliziranja. Ukupno važi da eksfiltracija smanjuje protok kanalizacije u sušnoj sezoni, a infiltracija značajno povećava protok kanalizacije i smanjuje koncentraciju zagađivača kanalizacije u kišnoj sezoni, pa u ovim uslovima može da predstavlja i dominantni dotok.

Postojanje nekontrolisanih procesa infiltracije/eksfiltracije po kolektorima ima sledeće negativne uticaje:

- Povećani troškovi pumpanja, smanjen hidraulički kapacitet koji dovodi do preopterećenja kanizacionih kolektora i tako povećava rizik od površinskog plavljenja.
- Povećana učestalost rada preliva čak i tokom sušnih vremenskih uslova ako postoje lokalno veoma visoki nivoi podzemnih voda, urušavanje kanalizacije.
- Smetnje u radu postrojenja za tretman otpadnih voda, povećan površinski sediment i ulaz zemljišta u kanizacioni sistem, povećano zagađenje podzemnih voda.



Slika 5. Doticaj i oticaj iz perforirane cevi u slučaju kanizacionog sistema sa perforiranim cevima (eksfiltracija i infiltracija iz kolektora-infiltracija u prirodno tlo)

Figure 5. Inflow and outflow from a perforated pipe in the case of a sewerage system with perforated pipes (exfiltration and infiltration from the collector - infiltration into the natural soil)

Perforirana cev ima male proreze kako bi voda mogla lako da izađe ili uđe, a ugradnju perforiranih cevi u sistemima kišne kanalizacije prati izgradnja infiltracionih rovova od šljunka.

Ugrađivanje perforiranih cevi u sloj šljunka po rovovima kolektora kišne kanalizacije omogućava sprečavanje i/ili kontrolu ovih nepoželjnih procesa, kao i efikasno uklanjanje viška podpovršinske vode iz zone nezasićenog tla, čime se sprečava prenošenje vode i zagađenja između različitih komponenti zemljišta i vodonosnih slojeva. Za razliku od procesa eksfiltracije koji se odvijaju po bioretencijama, ozelenjenim plitkim linijskim ili površinskim depresijama, gde ograničavajući faktor predstavlja kapacitet filterskog sloja, za ugradnju perforiranih cevi po infiltracionim rovovima je karakteristično da kapacitet perforirane cevi predstavlja ograničavajući faktor za proticaj. U većini slučajeva, sloj geotekstila nije potreban, može biti uzrok brzog opadanja kapaciteta i začepljenja.

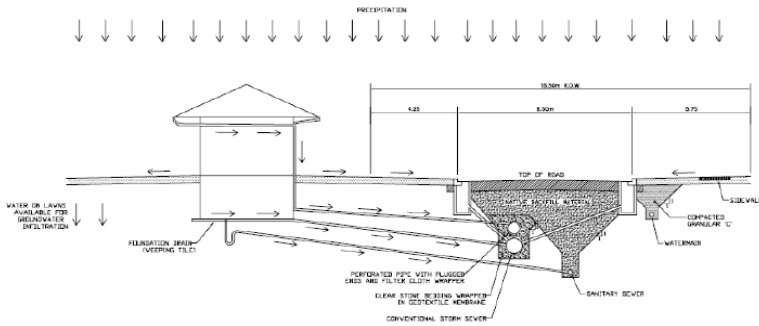
Pre donošenja odluke o primeni kontrolisane eksfiltracije u kolektorskom sistemu treba sagledati razlike između različitih slivova u pogledu njihove sposobnosti da pogoršaju kvalitet podzemne vode (betonske površine su manje opasne od asfaltnih) i odrediti zone gde postoji dopunska opasnost od izlivanja opasnih materija. Važan je i nivo podzemne vode i postojanje slobodnog prostora za dreniranje podpovršinskih voda.

Sistemi za eksfiltraciju su primenljivi za zone stambenih naselja sa manjom gustinom naseljenosti koje opslužuju lokalni putevi, kao i za parkove (primarni zagađivači su azot i fosfor, ukupan organski ugljenik a ne teški metali, ulja i masti), ali ne i za delove gradova sa velikim saobraćajnim opterećenjem i za industrijske zone, gde se u oticaju pojavljuju visoki sadržaji ulja, masti, suspendovanih čvrstih materija i teških metala. Naime, savremena hidrologija razmatra interakcije ne samo između prirodnih sastojaka, već i širokog spektra zagađivača, uključujući pesticide, đubriva, otpadne vode za navodnjavanje, kanalizaciju, toksične hemikalije, radioaktivne supstance, bakterije, otpad iz rudnika i organske tečnosti.

Takođe upotreba perforiranih cevi doprinosi zaštiti područja sklonih poplavama ili akumulaciji vode kao što su delovi gradskih saobraćajnica ili naselja, a prema podacima iz literature troškovi ugradnje druge cevi ne prevazilaze 15% ukupne investicije.

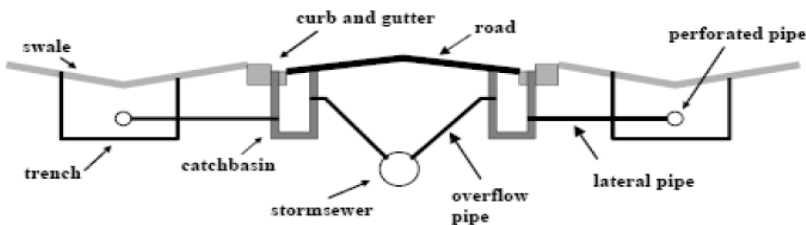
Ovakve intervencije su nepoželjne u širim zonama izvorišta vodosnabdevanja i delovima gde je nivo podzemne vode na rastojanju manjem od 1m dna perforiranih cevi. Bitni su podaci i o postojanju drveća sa dubokim korenjem koja mogu oštetiti geotekstil.

Primeri moguće upotrebe perforiranih cevi u fazi transporta oticaja kišne kanalizacije su dati na slikama 7, 8, 9, 10. Upotreba perforiranih cevi u sistemima za transport kišne kanalizacije je bliska ideji zamene pojedinih vodonepropusnih šahtova na kolektorima kišne kanalizacije podzemnim vodopropusnim rezervoarima koji imaju funkciju upojnih bunara.



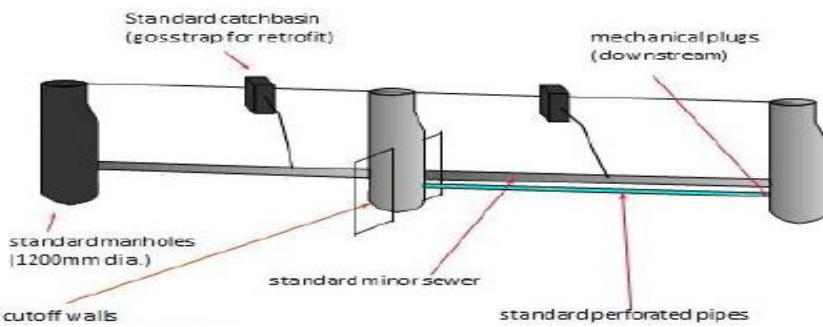
Slika 6. Povezivanje oluka na sistem kišne kanalizacije perforiranim cevima
Source: Clarifica and Schaeffers 2005.

Figure 6. Connecting the gutter to the storm sewer system with perforated pipes
Source: Clarifica and Schaeffers 2005



Slika 7. Povezivanje kišne kanalizacije sa drenažnim sistemom plitke linijske zatravljene depresije
Source: SWAMP 2005.

Figure 7. Connecting storm sewers to the drainage system of a shallow linear grassy depression
Source: SWAMP 2005



Slika 8. Povezivanje kišne kanalizacije sa drenažnim sistemom saobraćajnice
ETOBIKE: SWAMP 2005

Figure 8. Connection of storm sewers with the drainage system of the road
ETOBIKE: SWAMP 2005



Slika 9. Konstruktivni elementi sistema „tree drain“
Figure 9. Constructive elements of the „tree drain“ system

4. Zaključak

U radu je prikazana klasifikacija kriterijuma za kontrolu sistema kišne kanalizacije, bazirana na podeli po vrsti objekta i hidrološkom procesu koji se odvija u njima. Ovakva klasifikacija kriterijuma dovodi do koncepta modeliranja različitih tipova podzemnih i nadzemnih rezervoara, što je osnov za primenu matematičkog modeliranja.

Posebna pažnja je posvećena ulozi procesa infiltracije i eksfiltracije u delovima osnovnog kolektorskog sistema i proširenog sistema koji čine ulice, parkinzi, parkovi i otvoreni prostori koji prihvataju višak vode, koji ne može da primi osnovni sistem.

Osnovni zaključak je da za razliku od delova proširenog kanalizacionog sistema u kome eksfiltracija predstavlja poželjan proces, u transportnom delu osnovnog kanalizacionog sistema je to nepoželjan, nekontrolisan proces.

Jedna od mogućnosti za ostvarivanje kontrole ovog procesa je uvođenje perforiranih cevi u rovove kišne kanalizacije, uz obezbeđivanje zajedničkih recipijenata i rada drenažnih i kanalizacionih kolektora.

5. Literatura

- [1] Jose Manuel Tunqui Neira, Marie-Christine Gromaire, Katia Chancibault, Ghassan Chebbo: Blue -Green Systems Vol 5 No 1, 41 dol: 102166/bgS.2023.026 Towards a comprehensive functional typology of stormwater control measures for hydrological and water quality modelling purposes, *Blue Green Systems*, International Water Association, IWA, London 2023.
- [2] Vasilevska Lj, Blagojević B, Vasilevska M, *Nadzemni linijski tehnički elementi u integrisanim pristupima upravljanja atmosferskim vodama*, Zbornik radova

Građevinsko-arhitektonskog fakulteta u Nišu, br. 29, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš 2014.

[3] Prodanović V, *Procena neodređenosti kod kalibracije matematičkih modela infiltracionih sistema*, master rad, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd, 2013.

[4] Daniel Zimmermann&Chrisropher Peiritsch ACO On Site – Sponge Cities

PRIMENA METODE AHP-VIKOR SA FAZI PRISTUPOM U PROJEKTOVANJU OBJEKATA ATMOSFERSKE KANALIZACIJE

APPLICATION OF THE AHP-VIKOR METHOD WITH A PHASE APPROACH IN THE DESIGN OF ATMOSPHERIC SEWERAGE FACILITIES

ИВАН МИЛОЈКОВИЋ¹
НАТАША ПРАШЋЕВИЋ²

Прегледни стручни рад
DOI: 10.5937/VIK24353M

Резиме: Пројектована је канализација, пречишћавање и препумпавање атмосферских отпадних вода у Канализационој пумпној станици (ПС) „Макиш“. Извршен је избор оптималног решења у односу на изградњу коришћењем методе вишекритеријумске оптимизације уз разматрање различитих начина канализације, третмана и евакуације отпадних вода. Разматрани су различити начини пројектовања и изградње објеката. Коришћена је комбинована метода АХП-ВИКОР са Fuzzy приступом. Анализирана су различита варијантна решења за изградњу канализационе атмосферске ПС „Макиш“
Кључне речи: атмосферске отпадне воде, пумпна станица, АХП, ВИКОР, фази

Abstract: Sewerage, purification and pumping of atmospheric wastewater was designed in the Makiš Sewage Pumping Station (PS). The selection of the optimal solution in relation to construction was carried out using the method of multi-criteria optimization with consideration of different ways of channeling, treatment and evacuation of wastewater. Different ways of designing and building buildings were considered. The combined AHP-VIKOR method with Fuzzy approach was used. Various variant solutions for the construction of the sewer atmospheric PS „Makiš“ were analyzed.

Key Words: atmospheric wastewater, pumping station, AHP, VIKOR, Fuzzy

1. Увод

Пројектовање канализационих система у насељима, нарочито у великим градовима – метрополама, предмет је рада великог броја истраживача и инже-

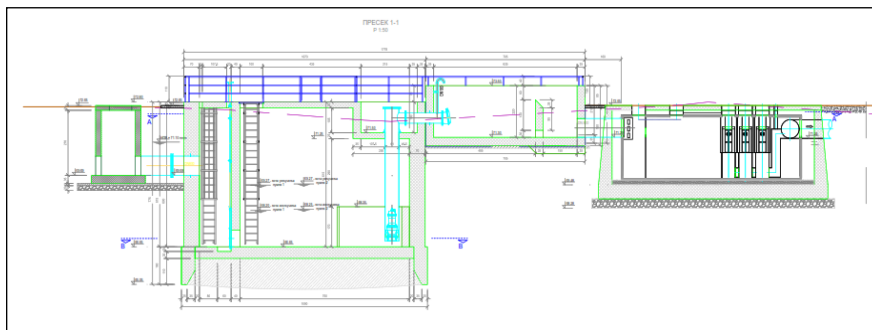
¹ Иван Милојковић, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Јарослава Черног 80, Београд, ivan.milojkovic@jcerni.rs, ORCID: 0000-0003-4108-7774

² Наташа Прашчевић, Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд, natasa@grf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-8696-8551

њера [1], [2], [4], [5], [6], [7], [8], [9]. Последњих година долази до великих осцилација у количинама атмосферских вода које треба да се евакуишу из урбаних средина што поставља веома сложене захтеве у пројектовању објеката за евакуацију атмосферских вода. Предмет овог рада је истраживање у циљу одређивања оптималног пројектантског решења пумпне станице атмосферских вода за комплекс „Макиш“ (Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, 2020). Разматрани су објекти - цевоводи и шахтови око третмана и пумпне станице потребни за правилно функционисање система, као и цевовод од пумпне станице до реципијента.

Из пумпне станице, грађевине 1 и сепаратора атмосферске воде се по пројекту гравитационо, цевоводом, одводе у канал „Стругара“. У овој вишекритеријумској процедури коришћене су методе вишекритеријумске оптимизације АХП и ВИКОР уз примену фази (Fuzzy) скупова на посматране алтернативе и критеријуме.

Разматра се рад канализационе црпне станице и третман атмосферских вода са припадајућом канализацијом [7], [8], [11], [12], [9], [10], [18]. Метода Аналитичких Хијерархијских Процеса (АХП), Метода Вишекритеријумског Компромисног Решења (ВИКОР) и теорија фази логике су коришћене у вишекритеријумској оптимизацији при избору методе извођења објеката. Метода Аналитичких Хијерархијских Процеса (АХП), попут других вишекритеријумских метода [1], [2], [4] се користи за добијање приоритета фактора ризика у грађевинским пројектима. Користе се модели [6], [16], [17] за избор одговарајуће методе пројектовања и извођења објеката засновани на фази АХП са троугластим и трапезоидним расплнутим бројевима (елементи фази скупова) са концептом α реза. Н. Прашчевић и Ж. Прашчевић [16] разматрали су проблем избора конструктивног система за изградњу индустријске хале по прописаним критеријумима.



Слика 1. Подужни пресек пумпне станице и сепаратора
Figure 1. The Longitudinal section of the pumping station and separator

Теорија фази (Fuzzy) логике има за циљ да обезбеди математички оквир за третирање непрецизности и неодређености иманентне човековим сазнајним процесима као што су мишљење и резонување.

Метода и експеримент

Метода Аналитичких Хијерархијских Процеса (АХП), попут других више критеријумских метода [1], [2], [3], [4], се користи за добијање приоритета фактора ризика у грађевинским пројектима. Рап [14] је предложио модел за избор одговарајуће методе конструкције моста заснован на фази АХП са троугластим и трапезоидним расплутим бројевима (елементи фази скупова) са концептом α реза. Јасковски и др. [6] је предложио проширени фази АХП метод за процену тежине критеријума за избор извођача, према пољском закону о јавним набавкама који је усклађен са смерницама ЕУ о тој теми. Таулан и др. [19] су користили фази АХП и фази ТОПСИС методе за одабир грађевинских пројеката и процену ризика. Н. Прашчевић и Ж. Прашчевић [16] разматрали су проблем избора конструктивног система за изградњу индустријске хале по прописаним критеријумима. Полат [15] је предложио интегрисани приступ одлучивању, који користи АХП и PROMETEE заједно за проблем избора подизвођача. дел Капо и др. [4] представили су метод за анализу неизвесности у одрживом пројектовању бетонских конструкција. Овај метод се заснива на стаблима захтева, анализи вредности и АХП.

Метода ВИКОР, која је овде представљена, развијена је за одређивање вишекритеријумског оптималног решења. Коначну одлуку доноси доносилац одлуке који има сложену структуру и недовољно изражену преференцију у поступку оптимизације [11], [13] ВИКОР метода је развијена на таквим методолошким основама да се доносиоцу одлуке нуди компромисна алтернатива или решење.

Теорија фази (Fuzzy) логике уводи у математичке оквире уобичајени начин резонувања човека при решавању свакодневних проблема који почива на речима (квалитативни приступ), а ређе бројевима (квантитативни приступ).

Теорија фази скупова и фази логике мотивисана је жељом да се сачини основа за рачунање речима са циљем да се квалитативним приступом решавају проблеми као што су: доношење одлука у условима неодређености, препознавање облика и руком писаних знакова, анализе сцене, моделовања комплексних система, управљање системима итд.

Постоје четири варијанте пројектовања и изградње пумпне станице и третмана атмосферских отпадних вода:

- Варијанта 1 – у овом алтернативном решењу – алтернатива подразумева извођење ПС у отвореном ископу са изливом под правим углом у односу на осу канала.
- Варијанта 2 – у овом алтернативном решењу – алтернатива подразумева извођење ПС у отвореном ископу са изливом под углом у односу на осу канала.
- Варијанта 3 – ова алтернатива предвиђа да се црпна станица изводи као отворени кесон – бунар са изливом под правим углом у односу на осу канала.
- Варијанта 4 - ова алтернатива предвиђа да се црпна станица пројектује као отворени кесон - бунар са изливом под углом у односу на осу канала.

Бунар се изводи поткопавањем без црпљења воде при спуштању на пројектовану кату. За спуштање бунара потребно је формирати радни плато. Алтернативе се вреднују на основу следећих критеријума: К1-утицај извођења ископа на постојеће објекте, К2-утицај на постојеће инфраструктурне водове, К3-утицај на заузетост грађевинске парцеле ископом, К4-утицај грађевинских радова на рад ПП Макиш, К5-утицај подземних вода на извођење, К6-утицај на тежину објекта. За избор оптималног решења примењена је АХП-ВИКОР метода са фази приступом описана дијаграмом испод.



Слика 2. Дијаграм АХП – ВИКОР методе са Fuzzy приступом
 Figure 2. Diagram AHP – VIKOR Method With The Fuzzy Approach

Одлучено је да се атмосферске воде са комплекса „Макиш“ (постројења „Макиш 1“, „Макиш 2“ и „Језеро“) третирају према одговарајућој Европској норми (BSEN 858-1).

У складу са овом нормом, предвиђа се сепаратор уља и масти Класе 1. Класа 1 сепаратора подразумева максималну излазну концентрацију уља и масти од 5 mg/l. Овај тип сепаратора задовољава строжије критеријуме поменутих норми (нпр. класа 2 сепаратора према овој норми подразумева максималну излазну концентрацију уља и масти од 100 mg/l). Нивои воде у ПС атмосферске канализације који обезбеђују правилно функционисање третмана атмосферских вода су: мин 68.20, мах 69.25 мм (приказано у табели испод).

Табела1. Нивои воде у ПС – атмосферска канализација

Table 1. Water levels in PS - atmospheric sewerage

Пумпа бр.	кота укључења (mm)	кота искључења (mm)
Пумпа бр. 1	69.27	68.20
Пумпа бр. 2	69.32	68.25
Резервни нивои	69.37	68.30

3. Резултати и дискусија

Хидраулички прорачун у Урбано програму [20], део прорачуна приказан је у табели испод, даје решења хидрауличких оптерећења предметне канализационе мреже. Из документације [5] преузете су величине хидрауличног оптерећења и дозвољених оптерећења ПС. У раду у исто време могу учествовати две пумпе капацитета по 400 L/s. Предвиђена је и једна резервна пумпа. У поступку избора пројектантског решења ПС „Макиш“ са третманом отпадних атмосферских вода применом АХП-ВИКОР методе са фази приступом предложено је и изабрано следеће решење: Варијанта 4 - алтернатива предвиђа да се пумпна станица изведе као отворени кесон - бунар са изливом под углом у односу на осу канала који се након горе поменутих детаљних анализе применом метода вишекритеријумске оптимизације сматра оптималним решењем.

Табела2. Део хидрауличног прорачуна

Table 2. Part of the hydraulic calculation

Назив деонице	Назив почетног чвора	Назив завршног чвора	Називни пречник цеви [mm]	Укупни проток [l/s]	Проток пуног профила [l/s]	Процент протока [%]	Висина испуњености [mm]	Унутрашњи пречник [mm]	Процент испуњености [%]	Брзина [m/s]	Брзина пуног профила [m/s]	Процент брзина [%]
D4	C7	C6	800	764,00	1.011,16	75,56	492,93	742	66,43	2,50	2,34	107,11
D3	C6	C5	800	764,00	994,45	76,83	499,69	742	67,34	2,47	2,30	107,25

4. Закључна разматрања

Приказаним избором оптималног пројектантског решења применом вишекритеријумске оптимизације и методе АХП – ВИКОР са фази (Fuzzi) приступом као оптимално је добијено пројектантско решење: Варијанта 4 - алтернатива предвиђа да се пумпна станица изведе као отворени кесон - бунар са изливом под углом у односу на осу канала Стругара који је коначни реципијент атмосферских вода.

Резултат примене напред поменути вишекритеријумске методе слаже се са стварним захтевима заинтересованих и надлежних учесника у поступку пројектовања за изградњу предметне пумпне станице. Као оптимално решење усвојена је алтернатива - варијанта 4. Овом варијантом је предвиђено да се пумпна станица изведе као отворени кесон - бунар са изливом под углом у односу на осу канала Стругара који прихвата третиране атмосферске воде. Бунарски начин изградње пумпне станице избегава интеракцију са околним цевоводима: спољним сервисним прстеном фабрике за производњу воде за пиће Макиш Ø500 и са магистралним водоводним цевоводом Ø1500 чија је намена снабдевање града Београда пијаћом водом. Оштећење напред поменутих цевовода изазива прекид рада целе фабрике за производњу воде за пиће „Макиш“ и прекид водоснабдевања потрошача на подручју града Београда са конзумним подручјем на коме се налази око 2.000.000 становника који се снабдевају пијаћом водом са напред поменути Фабрике воде за пиће. Једнако је важно избећи колизију са другом инфраструктуром у непосредном окружењу пројектованих објеката остављајући довољно простора за планирано извођење и одржавање других планираних објеката - регулатора притиска и сл. Добија се нешто масивнија грађевинска конструкција, али је знатно мања штета извођење масивније конструкције у економском смислу у односу на укупне проблеме и трошкове који су овом изабраном варијантом избегнути.

5. Литература

- [1] Abu-Taleb M. F, Mareschal, B. Water resources planning in the Middle East: Application of the PROMETHEE V multicriteria method. *European Journal of Operational Research*, 81, 500–511, 1995.
- [2] Athawale, V. M, Chakraborty, S..Facility Layout Selection Using PROMETHEE II Method. *The IUP Journal of Operations Management*, 9(1-2), 81–98, 2010.
- [3] Barton V. D. *Operations research in research and development*, John Wiley & Sons, Inc., New York, London, 1963.
- [4] Del Cano A, de la Cruz M. P, Gomez D, Perez M, Fuzzy method for analysing uncertainty in the sustainable design of concrete structures, *Journal of Civil*

- Engineering and Management* 22(7): (2016) 924–935. <https://doi.org/-10.3846-/13923730.2014.928361>
- [5] Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ ,Beograd Izrada projekta za izvođenje i izgradnja pumpne stanice i objekata za tretman i odvođenje atmosferskih voda – „Makiš“, Idejno rešenje, 2020.
- [6] Jaskowski P, Biruk S, Bucon, R. Assessing contractor selection criteria weights with fuzzy AHP method application in group decision environment, *Automation in Construction* 19: 120–126. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.12.014>, 2010
- [7] Jevtic M, Milojkovic I, Stojnic N, Research of the performance of pulse electrohydrodynamics in blockage removal, *Water Science & Technology*, 64.1 102-108, 2011.
- [8] Kessili A, Benmamar S. Prioritizing sewer rehabilitation projects using AHP-PROMETHEE II ranking method. *Water Science & Technology*, 73(2) 283–291, 2016.
- [9] Milojković I, Despotović J, Karanović I. Model for Maintenance of Sewerage System based on Inspection. IWA 7th Eastern European Young Water Professionals Conference, 17-19 September 2015, Belgrade, Serbia, Publisher: IWA - International Water Association, 538-543, 2015.
- [10] Milojković I, Romanović I. Analiza varijantnih rešenja rekonstrukcije KCS „Železnička stanica“ metodom PROMETHEE, 39. Međunarodni stručno-naučni skup „Vodovod i kanalizacija '18“, Valjevo, 09–12.10.2018., Izdavač: Savez inženjera i tehničara Srbije, ISBN 978-86-80067-39-1, 121-126, 2018.
- [11] Milojković, I. Uporedna analiza varijantnih rešenja rekonstrukcije KCS „Železnička stanica“ metodama VIKOR i PROMETHEE, 40. Međunarodna konferencija „Vodovod i kanalizacija '19“, Novi Sad, 01.–04.10.2019., Izdavač: Savez inženjera i tehničara Srbije, ISBN 978-86-80067-42-1 (2019a) 322-327, 2019.
- [12] Milojković I. Uporedna analiza prečišćavanja industrijskih otpadnih voda u HE „Đerdap 1“ metodama VIKOR i PROMETHEE, 48. konferencija o aktuelnim temama korišćenja i zaštite voda „VODA 2019“, 04.-06. jun 2019., Zlatibor, Izdavač: Srpsko društvo za zaštitu voda, Beograd, ISBN 978-86-916753-5-6 (2019b) 329-338, 2019.
- [13] Opricović S. 2009 Compromise in Cooperative Game and the Vikor Method *Yugoslav Journal of Operations Research*. Volume 19. Number 2. 225-238. DOI: 10.2298/YUJOR0902225O <https://doiserbia.nb.rs/Article.aspx?ID=0354-024309-02225O>
- [14] Pan N. F. Fuzzy AHP approach for selecting the suitable bridge construction method, *Automation in Construction* 17: 958–965. <https://oi.org/-10.1016/-j.autcon.2008.03.005>, 2008.

- [15] Polat G. Subcontractor selection using the integration of the AHP and PROMETHEE methods, *Journal of Civil Engineering and Management* 22(8): 1042–1054. <https://doi.org/10.3846/13923730.2014.948910>, 2016.
- [16] Prascevic N, Prascevic, Z. Application of fuzzy AHP method on eigenvalues for decision making in construction industry, *Technical Gazette* 23(1): 57–64, 2016.
- [17] Prascevic N, Prascevic Z. Application of fuzzy ahp for ranking and selection of alternatives in construction project management, *Journal of civil engineering and management*, ISSN 1392-3730 / eISSN 1822-3605, Volume 23(8): 1123–1135 <https://doi.org/10.3846/13923730.2017.1388278>, 2017.
- [18] Savić A. D. The use of data-driven methodologies for prediction of water and wastewater asset failures, Centre for Water Systems, University of Exeter, North Park Road, Exeter, EX4 4QF, United Kingdom, Chapter published in the Springer book: Risk Management of Water Supply and Sanitation Systems 181-190, 2009.
- [19] Taylan O, Bafail A. O, Abdulaal R. M. S, Kabli M. R. Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies, *Applied Soft Computing* 17: 105–116. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.01.003>, 2014.
- [20] URBANO 11, StudioARS d.o.o., www.studioars.hr, 2022.

UTICAJ POROZNIH ASFALTA NA PREČIŠĆAVANJE VODE SA ASFALTNIH POVRŠINA

THE EFFECT OF POROUS ASPHALTS ON WATER PURIFICATION FROM ASPHALT SURFACES

ISIDORA PANČIĆ¹

Pregledni stručni rad
DOI: 10.5937/VIK24361P

Rezime: Cilj ovog rada je da prikaže pozitivne uticaje poroznih asfalta na poboljšanje kvaliteta vode koja otiče sa asfaltnih površina i da predstavi njihove prednosti i mane u odnosu na tradicionalne zbijene asfalte. Porozni asfalti su mešavine koje odlikuje visok procenat šupljina. Kolovozna konstrukcija sa poroznim asfaltnim mešavinama mora istovremeno, kao jedinstven sistem, da ima odgovarajuću nosivost i omogući filtraciju atmosferske vode kroz porozne asfaltno slojeve. Svakodnevni porast saobraćaja ima, posmatrano sa više aspekata, negativan uticaj na životnu sredinu, te se konstantno vrše istraživanja u cilju eliminisanja, ili bar ublažavanja tih posledica. Zahvaljujući njihovoj otvorenoj teksturi i unapređenim drenažnim karakteristikama, porozni asfalti smanjuju koncentraciju otpadnih čestica vode koja otiče sa kolovoza.

Ključne reči: porozni asfalt, saobraćaj, životna sredina

Abstract: The goal of this work is to show the positive effects of porous asphalts on improving the quality of water that flows from asphalt surfaces and to present their advantages and disadvantages compared to traditional compacted asphalts. Porous asphalts mixtures are characterized by a high percentage of cavities. The road construction with porous asphalt mixtures must have, at the same time, a single system: required load capacity and to allow the filtration of atmospheric water through the porous asphalt layers. The daily increase in traffic has been analyzed from several angles. It's negative impact on the environment requires constant research for a solution to eliminate or at least reduce those effects. The open texture of porous asphalt improved drainage characteristics. Porous asphalts reduce the concentration of waste water particles that run off the pavement.

Key words: porous asphalts, traffic, environment

¹ Isidora Pančić, CAD Solutions, Nade Spasojević 1, Beograd, pancicisidora@gmail.com, ORCID: 0009-0003-4152-4871

1. Uvod

Porozni asfalti su mešavine agregata, kamenog brašna (filera) i bituminiziranih veziva koje, kako im i samo ime govori, odlikuje velika poroznost. Zbog načina spravljanja i ugradnje u sebi imaju do 25% šupljina. Prvi put su predstavljani javnosti krajem šezdesetih godina prošlog veka i od tada pa do danas se konstantno razvijaju i unapređuju.

Poznato je da današnje vreme karakterišu tendencije porasta urbanizacije, transporta i stepena motorizacije stanovništva, što ima niz negativnih posledica na životnu sredinu. Zbog svojih funkcionalnih karakteristika upotreba poroznih asfalta može umanjiti negativan uticaj pomenutih procesa na prirodno okruženje. Cilj rada je da prikaže pozitivne uticaje na poboljšanje kvaliteta životne sredine i da predstavi prednosti i mane u odnosu na tradicionalne, zbijene asfalte.

2. Opšte karakteristike poroznih asfalta

Porozne asfaltne mešavine nisu rasprostanjene kao zbijene, a razlog tome je njihov noviji datum proizvodnje. Prvo su se počeli ugrađivati u Sjedinjenim Američkim Državama, a kasnije se njihova upotreba proširila i na Evropu (Danska, Holandija, Belgija, Velika Britanija,...). Danas je njihova upotreba rasprostranjena po celom svetu. Iako su u aktivnoj upotrebi već preko 40 godina i dalje se istražuju i unapređuju u skladu sa najnovijim tehničkim dostignućima.

Postoji dva osnovna tipa poroznih asfalta, sa prostorom za skladištenje vode (rezervoarom), koja se infiltrira kroz njihovu površinu i bez njege, slika 1. Drugi tip ispod poroznih slojeva ima klasičnu zbijenu asfaltnu površinu kojom se voda koja padne odvodi do sistema za odvodnjavanje. Mogu se ugrađivati kao jednoslojni i dvoslojni u zavisnosti od potreba korisnika.



Slika 1. Porozni asfalti sa rezervoarom (levo), porozni asfalti sa zbijenim asfaltnim slojevima (desno)

Figure 1. Porous asphalt with reservoir (left), Porous asphalt with dense asphalt layers (right)

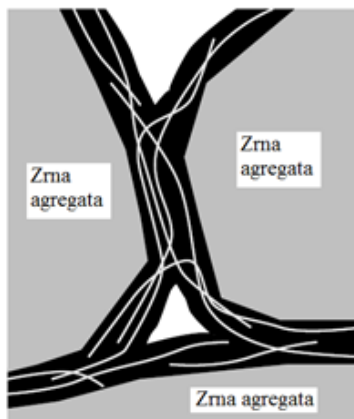
Trajnost, poroznost i nosivost kolovozne konstrukcije zavisi od strukture i sastava mešavine. Odnos veziva, agregata i aditiva je specifičan za svaku mešavinu (u zavisnosti od opterećenja, vrste veziva, granulometrijskog sastava mineralne mešavine, klimatskih parametara,...), ali proporcije se kreću u određenom opsegu. Sastav tipične porozne i zbijene (tradicionalne) asfaltne mešavine je prikazan u tabeli 1.

Tabela 1. a) Porozna asfaltna mešavina; b) zbijena asfaltna mešavina [5]

Table 1. a) Porous asphalt mixture; b) Dense asphalt mixture [5]

Tip asfaltne mešavine	Porozni asfalt	Zbijeni asfalt
Procenat šupljina	20-25%	4-6%
Procenat veziva	±5.5	±6%
Procenat praznina u mineralnoj mešavini	30-33%	14-17%
Procenat šupljina ispunjenih vezivom	30-35%	70-75%
Debljina filma veziva	10µm	7 µm

Najistaknutija osobina ovih mešavina, kako je već rečeno, je visok sadržaj šupljina. Osim toga procenat šupljina ispunjenih vezivom je podjednako bitna veličina koja predstavlja indicaciju veze između zrna agregata. Zbog svoje otvorene strukture vezivo je više sklono oksidaciji i starenju nego kod zbijenih asfaltnih mešavina. Dodavanjem vlakana i aditiva ovaj problem se prevazilazi. Vlakna se ravnomerno rapoređuju po mešavini i tako formiraju mrežu, slika 2. Zahvaljujući mrežastoj strukturi sprečeno je dreniranje veziva i omogućeno je povećanje procenta bitumena, a samim tim i povećanje debljine filma veziva oko kamenog skeleta mešavine.



Slika 2. Mrežasta struktura vlakana koja se formira u asfaltnoj mešavini oko zrna agregata [1]

Figure 2. Concept of interlocking fibers in the asphalt coating of aggregate particles [1]

3. Uticaj puteva i saobraćaja na životnu sredinu

Globalna analiza uticaja puta na životnu sredinu pokazuje da se svi efekti ispoljavaju u okviru dva osnovna vida. Prvi vid su uticaji koji se javljaju kao posledica same izgradnje objekta i koji su po prirodi većinom privremenog karaktera, a ogledaju se kroz prisustvo mašina i ljudi na gradilištu, transportu i ugradnji velike količine građevinskog materijala kao i trajnog ili privremenog odstranjivanja zelenih površina.

Drugi vid predstavljaju trajne posledice koje su nastale zbog egzistencije puta u prostoru i njegove eksploatacije kroz vreme, a to su pre svega zagađenje vazduha, tla i podzemnih voda, zauzeće prostora, povećanje nivoa buke i povećanje oticaja.

Iz svega navedenog jasno je da se održivi razvoj nalazi u samoj srži projektovanja i izgradnji svih objekata, a naročito puteva koji su jedan od većih zagađivača. Posmatrano iz te perspektive, porozni asfalti imaju niz pozitivnih osobina koje umanjuju negativne efekte globalne urbanizacije i izgradnje infrastrukturnih objekata. Neki od benefita ove vrste asfalta su sledeći:

- Smanjenje zagađenja zemljišta jer deluje kao filter za čestice
- Smanjenje urbanih uticaja na vodene tokove
- Smanjenje buke nastale interakcijom između točkova vozila i asfalta
- Povoljan uticaj na okolnu vegetaciju, jer omogućava lakšu filtraciju vode i kiseonika u područje korenja.

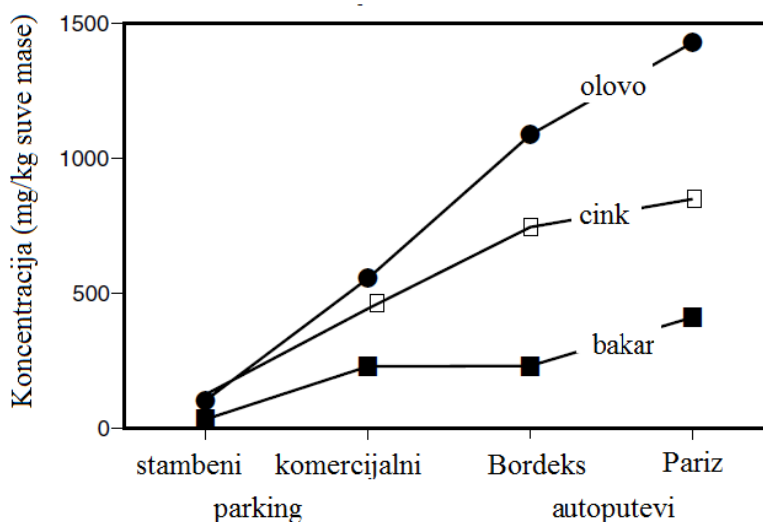
4. Poboljšanje kvaliteta vode koja se infiltrira kroz površinu kolovoza

Pored mnogobrojnih industrijskih postrojenja, hemijskih prerađivača, proizvođača sirovina i toplotne energije, saobraćaj predstavlja jedan od najvećih zagađivača prirodne okoline. Osim štetnih izduvnih gasova nastalih sagorevanjem goriva iz drumskih vozila, izvor zagađenja su i velike količine čestica koje nastaju trenjem i habanjem pneumatika o kolovoz, kao i one koje nastaju usled curenja goriva i maziva iz vozila. Koncentracija opasnih materija je najveća u prvim minutima kiše koja pada nakon dužeg sušnog perioda. Kiša spira nataložene čestice koje zatim lako dospevaju u zemljište i reke.

Porozni asfalti imaju pozitivan uticaj na poboljšanje kvaliteta vode koja padne i infiltrira se kroz slojeve konstrukcije. Veliki broj opasnih čestica se zadržava u gornjim slojevima. Uprkos ovoj osobini, u nekim slučajevima, kada postoji veliko saobraćajno opterećenje, voda ipak ne bi trebalo da dođe do posteljice, a da se prethodno ne prečisti. Porozni asfalti se baš iz ovog razloga ne upotrebljavaju u industrijskim zonama ili na mestima gde je povećana mogućnost izlivanja opasnih čestica u okolnu prirodnu sredinu.

Slika 3 prikazuje koncentraciju pojedinih zagađivača u zavisnosti od intenziteta saobraćaja. Kao što je i očekivano, zagađenje je veće gde je intenzivniji saobraćaj. Kako opasne čestice ne bi došle u kontakt sa okolnim zemljištem ili podzemnim vodama, preporučuje se redovno usisavanje i održavanje kolovoza.

Čestice koje najčešće zagađuju okolinu su teški metali, hloridi, ulja i maziva koja cure iz vozila. Teški metali kao što su cink, olovo i nikl dolaze iz korodiranih i oštećenih delova vozila, dok su hloridi posledica posipanja soli puta u zimskim uslovima. Povećan salinitet u zemljištu negativno utiče na ekosistem. Jedini način da se njegova koncentracija smanji jeste redukovanje korišćenja soli tokom zimskih meseci.



Slika 3. Koncentracija metala zarobljenih u površinskim porama poroznih asfalta [1]

Figure 3. Concentration of metals in sediment trapped in the surface pores of porous asphalt [1]

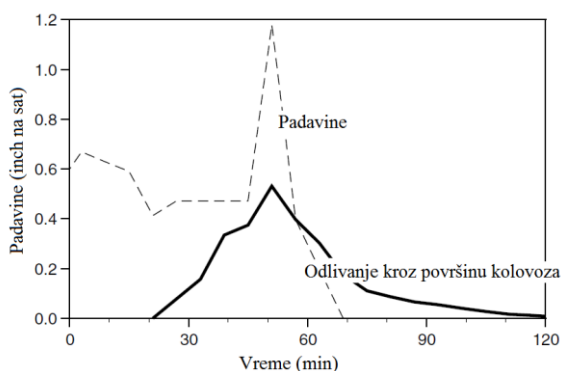
Ispitivanje kvaliteta vode koja prolazi kroz celokupnu kolovoznu konstrukciju je rađeno u više zemalja Evrope i dalo je slične rezultate. Voda se sakuplja na dnu rezervoara pa se preko perforirane cevi izvodi van i analizira. Uočeno je da je koncentracija apsorbiranih metala cinka, olova, i dr. iznosi samo 20% do 30% u odnosu na njihovu koncentraciju u površinskim slojevima.

Kvalitet vode je bolji i kod poroznih asfalta sa zbijenim slojevima što znači da čak i male debljine poroznih slojeva mogu imati funkciju filtera. Ovaj efekat izaziva vezivo koje je lepljivo pa se čestice zadržavaju na njemu.

5. Smanjenje oticaja-dreniranje

Tokom padavina, u urbanim sredinama voda koja pada na površinu ne može prirodno da otiče već se sakuplja u sisteme za odvodnjavanje i kontrolisano odvodi do recipijenata. Prilikom velikih pljuskova sistemi ne mogu prikupiti svu vodu, pa često dolazi do poplava koje mogu ugroziti bezbednost učesnika u saobraćaju i izazvati velike materijalne štete. Za razliku od napred navedenog koje se odnosi na kolovozni zastor od zbijenih asfalta, u slučaju primene poroznih asfalta kao habajućeg sloja, voda koja se infiltrira u konstrukciju poroznih kolovoza, samo delom odlazi kao oticaj, dok se ostatak zadržava u kolovozu i poroznim slojevima ispod. Engleski naučnik Andersen je 1999. godine ispitivao opisanu pojavu, a rezultati njegovog eksperimenta su objašnjeni u daljem tekstu.

U laboratoriji je bio izgrađen porozni trotoar od otvorenih betonskih blokova koji su postavljani na različite agregate. Uzorci nisu imali rezervoar. Voda koja je prolazila kroz površinu hvatana je u posudu. Slika 4 ilustruje drenažu kroz jedan takav laboratorijski uzorak.



Slika 4. Količina padavina i oticaj zabeleženi u laboratoriji, Engleska 1999 [1]

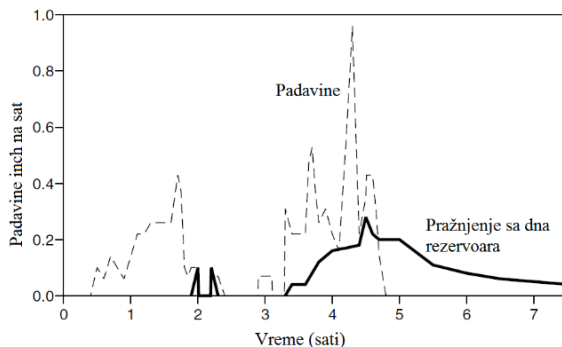
Figure 4. Rainfall on and drainage in the laboratory, England 1999 [1]

Tokom eksperimenta za prvih 20 minuta nije se javio proticaj zato što je voda koja se infiltrirala u kolovoznu konstrukciju kvasila zrna. Kada je proticanje počelo, bilo je manje nego što su bile padavine i nastavljeno je nakon prestanka „kiše“. Intenzitet oticaja tokom celog eksperimenta je bio manji nego što su bile simulirane padavine.

Oticanje je bilo veće što su čestice agregata bile krupnije, pa proizilazi zaključak da velika specifična površina čestica daje mogućnost za veće vezivanje vode koje može biti i do 55% ukupnih padavina. Voda koja se ne veže za čestice i koja ne stigne do rezervoara ispari. Stopa isparavanja je najveća u periodu neposredno nakon kiše.

Drugi eksperiment koji je rađen dao je slične rezultate. Ispitivanje je rađeno u realnim uslovima na parking u Notingemu, Engleska. Parking se nalazi kod univerziteta u Notingemu (Clifton Campus of Nottingham Trent University).

Parking ima četiri odvojena dela čija je podloga sagrađena od različitih materijala (šljunak, šljaka, lomljeni granit, krečnjak). Slika 5 prikazuje oticaj sa dna rezervoara sagrađenog od šljake u toku dana sa prirodnim padavinama.



Slika 5. Padavine i oticaj sa dna rezervoara sagrađenog od šljake u toku jednog dana sa prirodnim padavinama, Engleska [1]

Figure 5. Rainfall on and drainage from the slag reservoir during a day with natural rainfall, England [1]

Prva kiša nije davala oticaj, konstrukcija je potpuno apsorbovala padavine. Nakon što je počelo pražnjenje rezervoara njegov oticaj, pa čak i vrhunac, je bio znatno manji od maksimalne količine padavina. Pražnjenje rezervoara je nastavljeno nekoliko sati nakon prestanka kiše.

U ovom slučaju samo 37% kišnice otekne tokom oluje, 51% se ispusti u prvom satu nakon oluje, a samo 66% od ukupnih padavina otekne, dok ostatak ili odmah ispari ili se veže za čestice agregata. Za sva četiri rezervoara vrhunac pražnjenja je oko 30% od maksimalnih padavina. Ovo nije slučaj sa zbijenim asfaltima kod kojih je direktni oticaj čak 90%, a vrhunac oticaja kasni tek 5 do 10 minuta od vrhunca padavina.

Smanjenjem oticaja količine vode koja padne na urbano područje smanjuje se rizik od nastanka poplava.

6. Zaključak

Sa stanovništa korisnika puta glavne prednosti poroznih asfalta leže u odličnim funkcionalnim karakteristikama, a to su pre svega smanjenje buke i povećanje bezbednosti svih učesnika u saobraćaju.

Upotreba ovih asfalta doprinosi poboljšanju kvaliteta vode koja otekne sa kolovoza. Ovaj efekat se postiže tokom prolaska vode kroz kolovozni zastor i na taj način filtrira. Osim ovog efekata porozni asfalti imaju pozitivan uticaj i na oticaj vode tokom padavina pa smanjuju rizik od poplava.

Osim svih pobrojanih karakteristika važno je spomenuti da su porozni asfalti skloni začepljenju ukoliko se ne održavaju pravilno. Pravilno održavanje je osnovni preduslov za produžetak životnog veka i zadržavanja funkcionalni karakteristika.

Iz napred navedenog može se zaključiti da porozni asfalti imaju i prednosti i nedostatke u odnosu na tradicionalne, zbijene asfalte. Njihov dalji razvoj će biti usmeren ka poboljšanju osobina koje imaju pozitivan uticaj na životnu sredinu i bezbednost kroz dalje unapređenje veziva, kao i prema razviju tehnologije njihovog održavanja, jer je jedan od najvećih problema začepljenje pora. Uvođenje poroznih asfalta u upotrebu u zemljama gde se još uvek ne koriste podrazumevalo bi pre svega razmatranje tehnologije njegovog pravljenja i ugradnje kao i načina održavanja, koji se značajno razlikuje od zbijenog asfalta, kao i razmatranje drugih uslova, kao što su klimatski, finansijski, obim saobraćaja i dr. To praktično znači da bi svaka država, shodno svojim mogućnostima, trebalo da odredi strategiju razvoja, proizvodnje i upotrebe ovih asfalta.

7. Literatura

- [1] Ferguson B. *Porous Pavements*. USA: Taylor & Francis Group, 2005.
- [2] Huber, G, Performance Survey on Open-Graded Friction Course Mixes. Synthesis of Highway Practice 284. National Cooperative Highway Research Program. Transportation Research Board. *National Research Council*. Washington, D.C, 2000.
- [3] Ilić V, Orešković M, Prednosti i mane primene poroznih asfalta u urbanim sredinama, Zbornik radova *Međunarodne konferencije Savremena dostignuća u građevinarstvu 2015*, Subotica, Srbija. DOI: 10.14415/konferencija GFS 2015.058, 2015.
- [4] Van Der Zwan J. T, T. Goeman, H. J. A. J. Gruis, J. H. Swart, and R .H. Oldenburger. Porous Asphalt Wearing Courses in the Netherlands: State of the Art Review. Transportation Research Record No. 1265. *Transportation Research Board*. National Research Council. Washington, D.C. pp 95-110, 1990.
- [5] *Performance of open graded porous asphalt in New Zeland*, October 2011, NZ Transport Agency research report 455, 2011.

ПРЕЧИШЋАВАЊЕ КИШНЕ ВОДЕ СА МАГИСТРАЛНИХ САОБРАЋАЈНИЦА

PURIFICATION OF RAINWATER FROM HIGHWAY ROADS

БОРИС ЦОДАНОВИЋ¹

Стручни рад

DOI: 10.5937/VIK24369D

Резиме: Недостатак упутстава и стандарда, или погрешно тумачење постојећих препорука је повод за израду овог чланка. Министарство заштите животне средине би требало одредити јасна правила када и где се примењују поједини уређаји за пречишћавање, као и до ког квалитета кишну воду треба пречистити пре испуштања у природне водотокове, мелиорационе канале или подземље. Препуштање Пројектанту да одреди ниво пречишћавања доводи до проблема усаглашавања тумачења правилника (нпр. стандард EN858) са осталим учесницима у изградњи саобраћајнице.

Кључне речи: кишни отицај, препоруке, пречишћавање

Abstract: The absence of instructions and standards, or the misinterpretation of existing recommendations is the reason for the creation of this article. The Ministry of Environmental Protection should determine clear rules for when and where certain purification devices are applied, as well as to what quality rainwater should be filtered before being discharged into natural watercourses, melioration canals or underground. Leaving it to the Designer to determine the level of purification leads to the problem of harmonizing the interpretation of the regulations (eg, standard EN858) with other participants in the road construction.

Key Words: rain runoff, recommendations, purification

1. Увод

Загађење путне површине се може догодити на два начина.

- Први, редовним саобраћајем, као загађење нафтним дериватима који несагорени излазе кроз испусни ситем возила, траговима гума од кочења и разним цурењима течности из неисправних возила,
- Други, преко хаварија, судара, извртања цистерни са опасним материјама и слично.

¹ Борис Цодановић, „ЕХТИНГ“, Веле Нигринове 16, Београд, borisdz@ehring.co.rs
ORCID 0000-0003-3566-3309

Пројектанти углавном не сагледавају могуће узроке загађења, зато би било неходно да се пропушу услови пројектовања како би били приморани да предвиде системе заштите без „укључивања мозга“ приликом пројектовања.

Када се говори о пречишћавању кишне воде углавном се мисли на први узрок загађења, а хаварије се никад не узимају у обзир.

Осим могућих узрока загађења, потребно је сагледати и локацију могућег загађења. Није свеједно да ли ће се хаварија догодити у зони изворишта, заштићеног подручја или ван њих. Иако постоји опасност од разних загађења услед хаварије цистерне која превози опасне материје, у овом раду ћемо се фокусирати на загађење од лаких нафтних деривата.

2. Шта штитимо и зашто

Ово питање не постављају ни пројектанти, а ни службе које издају услове за пројектовање. Да ли је потребно штитити подземну воду од загађења лаким нафтним дериватима ако је коефицијент пропусности земљишта 10^{-7} m/s. Овај коефицијент значи да је продор чисте воде у подземље 0,0086 m/24 часа. Зауљена вода, која зачепља површинске поре земљишта ће спречити и оволико упијање. Ово површинско загађење ће се лако решити кошењем траве и уклањањем загађеног слоја земљишта. Такав поступак би морао бити прописан за сваку хаварију која узрокује загађење земљишта.

Насупрот томе, изливање нафте у мелиорационе канале може обложити бокове канала и спречити инфилтрацију и ексфилтрацију воде у канал, односно потпуно онеспособити функцију за коју је канал направљен.

У случају заштићених подручја, треба размислити о загађењу које је топиво у води, а не само о нафтним дериватима или тешким металима који се углавном отклањају таложењем суспендованих честица које су носилац оваквог загађења.

3. Постојећи правилници и упутства

Од постојећих правилника и упустава имамо:

Технички услови за грађење путева у Републици Србији, 2 Посебни технички услови, 2.3. систем за одводњавање, су на страни 28 прописали да сепаратори лаких нафтних деривата треба да задовоље стандард EN858, Приручник за пројектовање путева у Републици Србији, 8. Конструктивни елементи путева. 8.3. Систем за одводњавање, на страни 15 прописује да се пречишћава запремина почетног површинског отицаја од 13 mm, односно 25 mm (ЕРА прописује 1" (25 mm))

То су контрадикторни захтеви, а показаћемо и зашто.

Стандард EN858

Стандард EN858, део 2, у члану 4.2.2. пише: Обилазни водови код сепаратора нису погодни за категорију а) употребе (види 4.1.). Они се користе само на местима где је мало вероватно да ће бити значајног контаминирања угљоводоницима за време већих киша.

Члан 4.1. а) предвиђа површине из индустријских процеса, прања возила, чишћење делова од нафте или других површина, нпр. простора бензинских станица.

Овај део пројектанти, инвеститори, а и извођачи тумаче да је у свим осталим случајевима дозвољена уградња сепаратора са обилазним водом. Међутим, ако се детаљно прочитају чланови 4.1. и 4.2.2. то тамо не пише. Ту пише само да су ово површине код којих ни у ком случају није дозвољен обилазни вод.

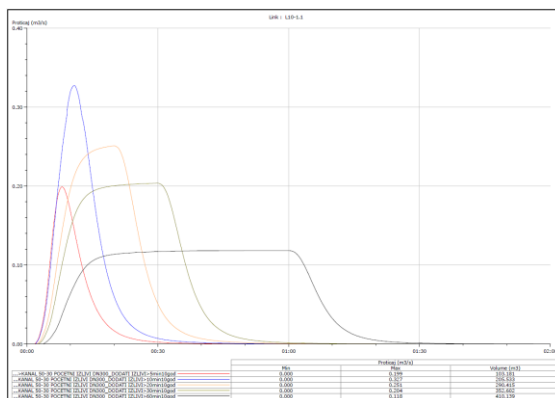
Тип сепаратора је одређен у прилогу Б, у табели Б.2. У тој табели пише за случај кишнице са путева и сличних површина, да је у случају испуштања кишне воде и јавну канализацију дозвољен сепаратор класе II са обилазним водом, ако постоји локални стандард који то дозвољава. Карактеристике обилазног вода нису обухваћене стандардом EN858 али је уобичајени однос да се пречишћава 10% протока, а 90% пропушта преко обилазног вода. У случају испуштања кишнице у отворене водотокове предвиђа се сепаратор класе I без обилазног вода.

Сепаратор класе I је сепаратор који пречишћава кишну воду на максимални садржај лаких нафтних деривата од 5 mg/l. Овим је дефинисано да се пречишћава сва вода са путева, у случају изливања у отворене водотокове. Услов да се пречишћава „прва киша“ је искључен.

4. Приручник за пројектовање путева у Републици Србији

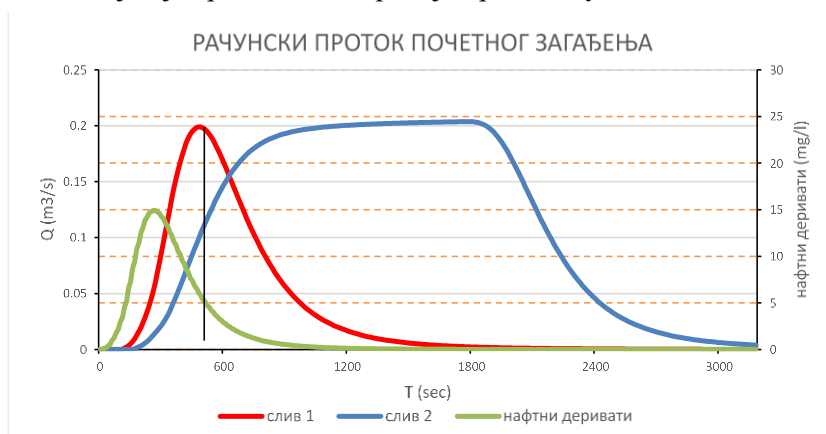
Приручник за пројектовање путева у Републици Србији прописује да се пречишћава запремина почетног површинског отицаја од 13 mm, односно 25mm (ЕРА прописује 1" (25 mm)). Шта то значи приказаћемо на примеру једног излива са саобраћајне површине брзе саобраћајнице Шабац-Лозница.

Хидрауличким прорачуном су добијени хидрограми излива за слив L10 за 10 годишње кише 5, 10, 20, 30 и 60 минута. Максимални проток је добијен за 10 минутну кишу и износи $Q=327$ l/s. При тој киши укупна запремине отекле кише са сливне површине је 205,53 m³. Укупна површина слива је $A=2.38$ ha, што значи да је потребно пречистити по критеријуму 13 mm $V_{13}= 309.4$ m³, а по критеријуму 25 mm $V_{25}=595$ m³. У оба случаја запремина коју је потребно пречистити се никад не постигне, што значи да сепаратор треба да пречисти свих $Q=327$ l/s.



Слика 1. Хидрограм излива
Figure 1. Hydrogram of outflow

Ово је доказ шта значи појам „прва киша“ који сви користе, а нико не зна шта је то. Појам „прва киша“ зависи од геометрије слива. Уски и кратки сливови, какви су путеви, имају вема кратко време концентрације „прва киша“ је све. „Прва киша“ може бити мања од врха хидрограма за широке и велике сливове код којих је време концентрације протока дуже.



Слика 2. Пример „прве кише“
Figure 2. Example of „first rain“

Ово значи да би требало да се „прва киша“ прорачунава за сваки излив. Да би се пројектантима олакшао посао, јер нису сви вични математичком моделирању или немају приступ скупим софтверима који олакшавају прорачун за већи број киша потребно је направити правилник за пројектанте, који би једнозначно дефинисао критеријуме за пречишћавање.

5. Пречишћавање у случају хаварије

Без обзира колико траје суви период (кад се саобраћајна површина прља) укупна запремина лаких нафтних деривата од испирања кишом, биће далеко мања од запремине нафте коју је потребно испрати са пута и сакупити при извртању цистерне (20 m³) или судара две цистерне (40 m³). Ако би се уградио сепаратор са обилазним водом, чију уградњу заступа већина пројектаната, нафта би прошла обилазним водом и излила се у реципијент. Ако би се уградио сепаратор без обилазног вода, након попуњавања запремине за смештај лаких нафтних деривата, пловак би затворио одвод и нафта би остала у систему прикупљања кишнице. Овде настаје проблем, шта ако се деси прорачунска киша у тренутку када је одвод на сепаратору затворен. У том случају ако запремина кишне канализације није довољна да прими сву кишу, може доћи до течења запрљане воде дуж саобраћајнице или до преливања преко ивичњака и изливања по околном терену. Постоје неколико решења која овај проблем сведе на најмању могућу меру.

- Пројектовати запремину кишне канализације која може прихватити комплетан кишни отицај,
- Кишну канализацију излити у ретензију, а сепаратор ставити на испусту из ретензије.

У случају пројектовања кишне канализације као отвореног система са каналима није проблем да се систем испројектује довољне запремине да може прихватити комплетан кишни отицај. При томе треба водити рачуна о нагибу канала, да не би дошло до преливања приликом затварања одвода сепаратора.

Друго могуће решење је да се систем одводње пута пројектује тако да се кишна вода прелива преко банке пута и сакупља у ретензионе касете на дну насипа. Велики део нафтних деривата би се издвојио на травнатој површини и кошењем траве уклонио, а остатак који се не би задржао на трави би био ухваћен у ретензионим касетама.

У случају пројектовања цевног система кишне канализације са шахтовима је веома тешко, а можда и немогуће, да се постигне запремина која може задржати комплетан кишни отицај. У том случају је најбоље решење да се цевна канализација прво излије у ретензију, а затим вода из ретензије контролисано испушта преко сепаратора малог протока, али без обилазног вода.

6. Закључак

Одводња путева није једноставан пројекат који се може урадити „прецртавајући“ претходна решења. Потребно је сагледати све локалне услове

(коэффицијент филтрације околног терена, кише, реципијенте, саобраћајно решење и слично). Потребно је извршити притисак на Министарство заштите животне средине да направи јасна и једнозначна упутсва за пречишћавање и испуштање кишне воде са путева. Не би требало да пројектант одводње пута на сваком пројекту докторира, већ да прати упутства за пројектовање које ће неко други прописати (можда на томе и докторирати).

7. Литература

- [1] Стандард EN 858
- [2] Приручник за пројектовање путева у Републици Србији, 8.Конструктивни елементи путева. 8.3.систем за одводњавање, 2012.
- [3] Технички услови за грађење путева у Републици Србији, 2 Посебни технички услови, 2.3. систем за одводњавање, 2012.
- [4] Connecticut Stormwater Quality Manual, EPA USA, 2024.

ODRŽIVE TEHNIKE UPRAVLJANJA ATMOSFERSKIM VODAMA U SLUŽBI ODVODNJAVANJA ŽELEZNIČKOG KOLOSEKA

SUSTAINABLE STORM WATER MANAGEMENT TECHNIQUES IN SERVICE OF RAILWAY TRACK DRAINAGE

*JELENA DIMITRIJEVIĆ¹
ZORAN BONIĆ²
DRAGAN MILIĆEVIĆ³*

*Originalni naučni rad
DOI: 10.5937/VIK24375D*

Rezime: Atmosferske vode koje dospevaju na železničku prugu mogu da zagade okolno zemljište i vodna tela u neposrednoj blizini koloseka. Na osnovu podataka dostupnih istraživanja utvrđeno je da se od zagađivača u značajnim količinama izdvajaju teški metali, policiklični aromatični ugljovodonici (PAH) i herbicidi. Istraživanjima koja su izvršena na pruzi Niš-Preševo potvrđeno je da se u značajnim količinama izdvajaju teški metali. Aktuelne mere za smanjenje emisije zagađenja nisu bezbedne za efikasno suzbijanje zagađenja vode i zemljišta. U ovom radu su dati rezultati istraživanja emisije zagađenja od strane železnice i predložena su rešenja za odvodnjavanje pruga korišćenjem tehnika održivog upravljanja atmosferskim vodama.

Ključne reči: zagađenje životne sredine, odvodnja pruge, održive tehnike odvodnje

Abstract: Atmospheric water that falls on railroad tracks can pollute the surrounding soil and water bodies next to the railroad tracks. According to the existing study data, heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and herbicides are significantly separated from contaminants. The investigations carried out on the Niš-Preševo railway confirmed that heavy metals are extracted in significant quantities. Current measures to reduce pollution emissions are unsafe for the effective containment of water and soil pollution. In this paper, the results of the research on pollution emission from the railway line and proposed drainage solutions using sustainable storm water management techniques are given.

Key Words: environmental pollution, railway drainage, sustainable drainage techniques

¹ Jelena Dimitrijević, Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, Niš, jelena.dimitrijevic@gaf.ni.ac.rs, ORCID: 0009-0006-7158-0737

² Zoran Bonić, Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, Niš, zoran.bonic@gaf.ni.ac.rs, ORCID: 0000-0002-7452-6756

³ Dragan Milićević, Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, Niš, dragan.milicevic@gaf.ni.ac.rs, ORCID: 0000-0003-0617-2682

1. Uvod

Železnica je linijski infrastrukturni objekat za transport robe i putnika. Zbog svojih specifičnosti i raznovrsnosti okruženja na koja mogu uticati, železnički saobraćaj može predstavljati značajan rizik za životnu sredinu kako tokom izgradnje tako i kasnije tokom eksploatacije [1].

Sektor transporta se može smatrati važnim izvorom difuznog zagađenja životne sredine, ali su se do sada brojne studije fokusirale na zagađenje drumskog saobraćaja, dok se o železnici malo zna. Saznanja o emisijama iz redovnog saobraćaja železnice i sudbini i ponašanju supstanci u profilu pruge i okolini su oskudna u poređenju sa drumskim saobraćajem. Zbog toga je veoma teško da se proceni ekološka sudbina emisija zagađenja iz železničkog sistema i da li su standardi kvaliteta voda i zaštite zemljišta ispunjeni [2].

Dosadašnje mere smanjenja emisije zagađenja, kao što su sistemi za odvodnjavanje duž koloseka ili infiltracija oticanja, su nesigurne u smislu efikasnosti zadržavanja zagađivača vode i zemljišta [2]. Neophodni su novi pristupi upravljanju atmosferskim vodama kao rezultat ekoloških problema, urbanizacije i klimatskih promena. Da bi se efekti zagađenja minimizirali, moraju se razviti nova rešenja za upravljanje atmosferskim vodama. Danas se u svetu primenjuju nova rešenja održivog upravljanja količinom i kvalitetom atmosferskih voda, koja se javljaju pod različitim nazivima: Best Management Practices (BMP), Low Impact Development (LID), Sustainable Drainage System (SuDS), Water Sensitive Urban Design (WSUD), Low Impact Urban Design and Development (LIUDD) i td.

U ovom radu dat je prikaz rezultata istraživanja emisije zagađenja u trup železničke pruge usled odvijanja železničkog saobraćaja u Srbiji i predlog odvodnjavanja železničkih pruga korišćenjem održivih savremenih tehnologija upravljanja atmosferskim vodama kojima se pored kontrole zapremine oticanja poboljšava i kvaliteta efluenta. Osnovni cilj je da se predloži primena tehnologija koje su korišćene u odvodnjavanju urbanih sredina, sada u oblasti železnice. Prikazani rezultati i predlog rešenja su deo istraživanja koja se sprovode na Građevinsko-arhitektonskom fakultetu Univerzitet u Nišu u okviru doktorske disertacije doktoranda Jelene Dimitrijević.

2. Odvodnjavanje železničkih pruga

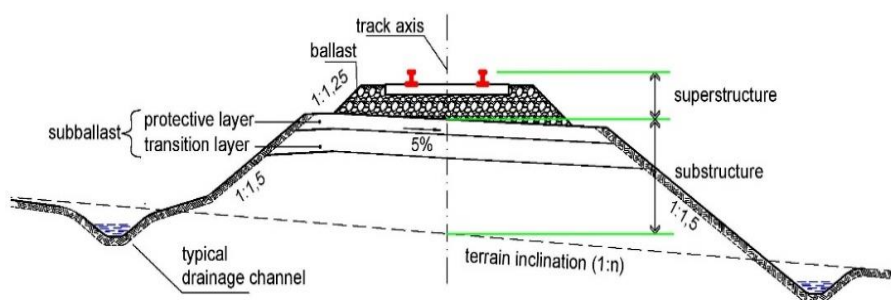
Svrha sistema za odvodnjavanje, koji se sastoji od mreže povezanih kanala i/ili cevi, je evakuacija površinskih i podzemnih voda iz zone osetljivih objekata. Nepravilan rad ili nedovoljan kapacitet sistema za odvodnjavanje može značajno oštetiti železničku infrastrukturu. Osnovni zadatak sistema za odvodnjavanje železničke pruge je da odvede vodu iz više izvora, uključujući atmosfersku vodu (kiša i

sneg), vodu koja se na kolosek izliva iz obližnjih područja i podzemne vode. Što se tiče odvodnjavanja željezničke pruge, postoji niz zahteva. Da bi se održala stabilnost koloseka tokom perioda obilnih padavina, osnovno je da se voda sa željezničke pruge ukloni što je brže moguće. Tek kada su drenažni putevi, kao što su zastor, zaštitni, prelazni sloj i odgovarajući drenažni kanali, propusni po potrebi, voda se može uspješno ukloniti sa koloseka na zastoru [3].

Zbog velike poroznosti zastora, koji efikasno odvodi vodu sa koloseka, sloj ispod zastora, koji obuhvata zaštitni i prelazni sloj, treba da ima prihvatljiv nagib. Nagib zaštitnog i prelaznog sloja, kao i vodonepropusnog sloja ispod njih tipično iznosi 3% do 5% [3].

Orijentacija kosine (jednostrano ili dvostrano odvodnjavanje) zavisi od toga da li je u pitanju jednokolosečna ili dvokolosečna pruga. Odvodni kanali su linearne konstrukcije koje mogu biti otvorene ili zatvorene. U slučaju tradicionalnog odvodnog sistema, za željeznicu na otvorenom tipični su kanali otvorenog tipa u vidu odvodnih jarkova (slika 1), dok su na stanicama u upotrebi zatvoreni drenažni kanali između koloseka.

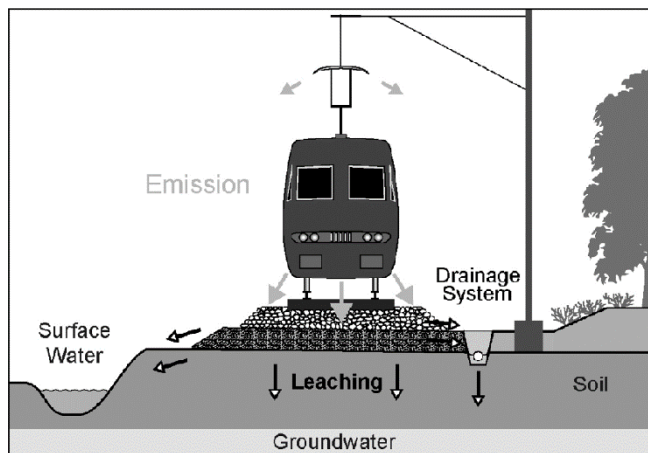
U zavisnosti od položaja u odnosu na osu koloseka, kanali za odvodnjavanje se mogu kategorisati kao uzdužni (paralelni sa osom koloseka duž bočnih strana), poprečni (upravni ili nagnuti na osu koloseka) ili aksijalni (duž ose koloseka). Recipijent za prijem vode iz kanala za odvodnjavanje je najbliža reka.



Slika 1. Karakteristični poprečni presek željezničke pruge sa elementima za odvodnjavanje [3]

Figure 1. Characteristic cross section of the railway track with drainage elements [3]

Atmosferske vode koje padaju na željezničke pruge delimično se slivaju površinski, a delimično infiltriraju u podzemlje [4] noseći različite zagađivače. Neki od zagađivača direktno dospevaju u površinske i podzemne vode, a neki ostaju u u zemljištu u okruženju pruge, da bi na kraju dospeli u podzemne vode (slika 2) [5].



Slika 2. Prostorna distribucija supstanci koje se emituju redovnim radom željeznice i njihovi putevi do podzemnih i površinskih voda [5]

Figure 2. Spatial distribution of substances emitted by regular railway operation and their pathways to groundwater and surface water [5]

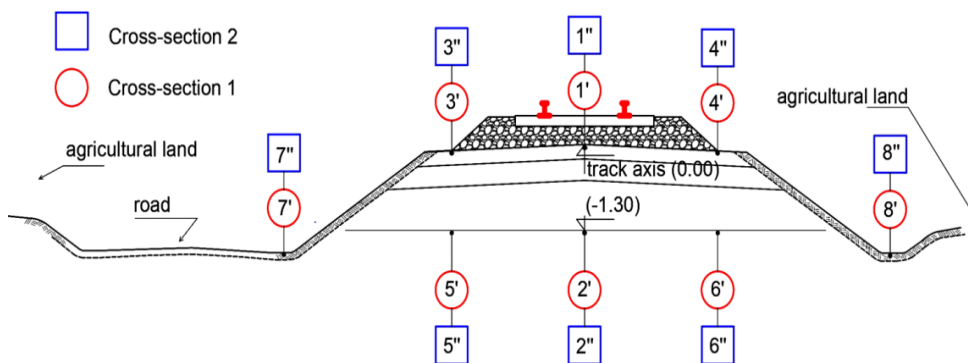
Na osnovu dosadašnjih oskudnih istraživanja među zagađivačima iz redovnog saobraćaja željeznice izdvajaju se policiklični aromatični ugljovodonici (PAH), teški metali (gvožđe, bakar, cink, mangan, hrom) i herbicidi (glifosat) [6]. Takođe, potvrđeno je značajno prisustvo gvožđa u blizini željezničke pruge. Pored gvožđa zabeleženi su i aluminijum, kalcijum, silicijum i sumpor [5]. Količina padavina ima direktan uticaj na oslobađanje policikličnih aromatičnih ugljovodonika [6, 7]. U poređenju sa drumskim saobraćajem, ukupne emisije zagađenja iz željezničkog sistema su daleko niže, ali nisu zanemarljive [8]. Izvori zagađivanja se ne mogu potpuno zanemariti jer proizilaze iz rada i održavanja transportnog sistema [7, 9].

3. Određivanje sadržaja teških metala u nasipu željezničke pruge

Područje istraživanja je bilo na magistralnoj željezničkoj pruzi Niš-Preševogranica sa Republikom Severnom Makedonijom, na deonici Belotinac-Međurovo, Srbija, od km 253+072,00 do km 253+283,00. Željeznički kolosek se oslanja na balast, tako da se gornji stroj sastoji od balasta, drvenih pragova sa šinama i pričvrstnih sredstava tipa K. Električna vuča je u upotrebi od 1974. godine. Na osnovu raspoloživih podataka prethodni remont pruge izvršen je 1965. godine i obuhvatao je gornji i donji stroj. U periodu od rekonstrukcije do danas zamenjeni su samo pojedinačni elementi gornjeg stroja [10]. U istraživanju su sagledana dva relevantna poprečna preseka. Za izbor pozicija poprečnih preseka presudna je bila okolnost da su u tom trenutku, za potrebe rekonstrukcije, uklonjeni postojeći elementi i slojevi gornjeg stroja, kao i nasip pruge na deonici od 211 m. Odabrana

lokacija je ocenjena kao povoljna za istraživanje, jer su istraženi poprečni preseci bili smešteni u nasipu, što je isključilo uticaj sadržaja koji mogu da otiču iz okolnog zemljišta pri obilnim padavinama.

Pored zahteva da posmatrani poprečni preseci budu u nasipu, ispunjen je i uslov da budu što dalje jedan od drugog, na rastojanju većem od 100 m, kako bi se izbegli eventualni identični uticaji. U pogledu položaja trase u odnosu na teren i uređenja okolnih površina, dva ispitivana preseka razlikovala su se samo po visini nasipa [10].

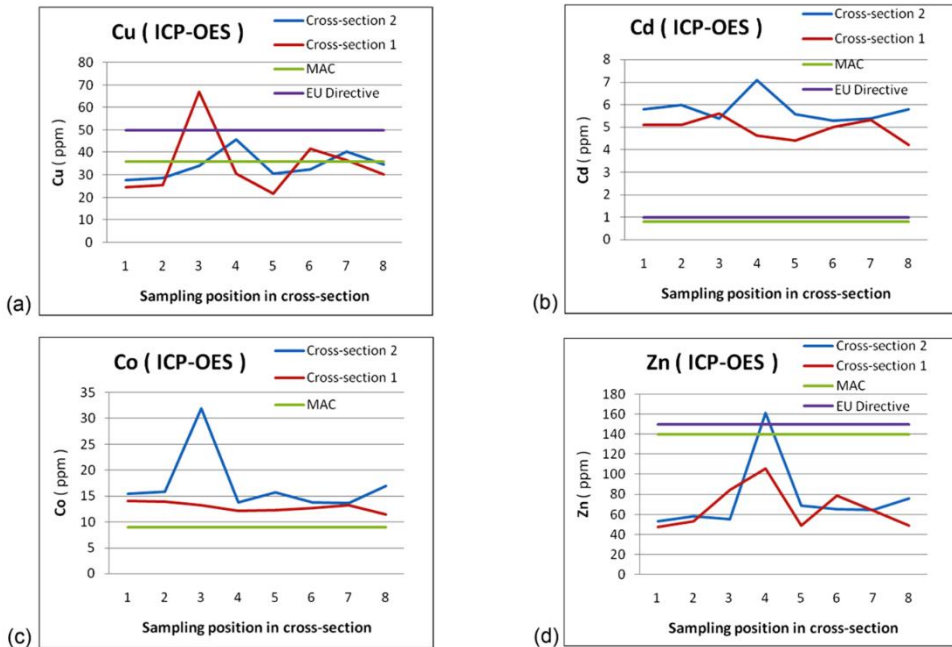


Slika 3. Tipičan poprečni presek železničke pruge i mesta uzorkovanja [10]
Figure 3. Typical cross-section of the railway and locations from where samples were collected [10]

Uzorci zemljišta su prikupljeni prilikom uklanjanja gornjeg stroja i nasipa u toku radova na rekonstrukciji pruge, pri čemu je uzorkovanje vršeno odgovarajućim ručnim alatom. Mesta uzorkovanja na izabranim poprečnim presecima definisana su prema načinu odvodnjavanja sa železničkog koloseka. Položaj i dubina mesta uzorkovanja kao i obeležavanje uzoraka su detaljno prikazani na slici 3. Prikupljeno je osam uzoraka po preseku, odnosno ukupno 16 uzoraka. Označena mesta uzoraka 1' - 8' odgovaraju poprečnom preseku br. 1, dok oznake 1'' - 8'' odgovaraju poprečnom preseku br. 2.

Skeniranje uzoraka u prvom ciklusu ispitivanja obavljeno je korišćenjem ručnog rendgenskog fluorescentnog (XRF) spektrometra (proizvodnja LANScientific, model RTU-KSRF7460), u Laboratoriji za geotehniku Građevinsko-arhitektonskog fakulteta Univerziteta u Nišu [10].

Postupak određivanja tragova i vrsta metala u navedenim uzorcima obavljen je i na ICP-OES (optička emisiona spektrometrija sa indukovanom spregnutom plazmom) spektrometru (iCAP 6000 serija, proizvođača Thermo Naučna kompanija), u Laboratoriji za analitičku i fizičku hemiju. Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Nišu [10].



Slika 4. Koncentracija teških metala na poprečnim presecima 1 i 2 sa maksimalno dozvoljenim vrednostima prema MAC i Direktivi EU, merene ICP-OES: (a) bakar - Cu; (b) kadmijum - Cd; (c) kobalt - Co; (d) cink - Zn

Figure 4. Heavy metal concentration on cross-sections 1 and cross-section 2 with maximum allowable values according to MAC and EU Directive, measured by ICP-OES: (a) copper - Cu; (b) cadmium - Cd; (c) cobalt - Co; (d) zink - Zn

Rezultati ispitivanja iz oba postupka analizirani su prema maksimalno dozvoljenoj koncentraciji opasnih metala (MAC) prema nacionalnim propisima Republike Srbije i prema vrednostima preporučenim u zemljama Evropske unije (EU) [10]. Deo rezultata ispitivanja na ICP-OES spektrometru prikazan je na slici 4.

Rezultati ispitivanja pokazuju da je evidentirano prisustvo velikog broja različitih teških metala u železničkom telu kao posledica železničkog saobraćaja. Maksimalno dozvoljene koncentracije (MAC) za kadmijum, kobalt, bakar, cink, nikl, vanadijum, hrom i barijum, propisane za Republiku Srbiju i vrednosti za nikl, bakar, kadmijum i cink, prema Direktivi EU su prekoračene. Od toga su kadmijum, kobalt, bakar i cink prema MAC-u, a kadmijum, bakar i cink prema Direktivi EU potvrđeni kao metali skloni ispiranju u nedozvoljenim količinama. Iako su koncentracije drugih metala bile manje od preporučenih, važno je uzeti u obzir ove vrednosti, jer teški metali imaju tendenciju akumulacije [10].

Kod većine ispitivanih teških metala je zapažena njihova ujednačena koncentracija po poprečnom preseku, upoređujući vrednosti na ispitivanim lokacijama. Na osnovu vrednosti koncentracije po dubini nasipa, potvrđena je migracija metala [10].

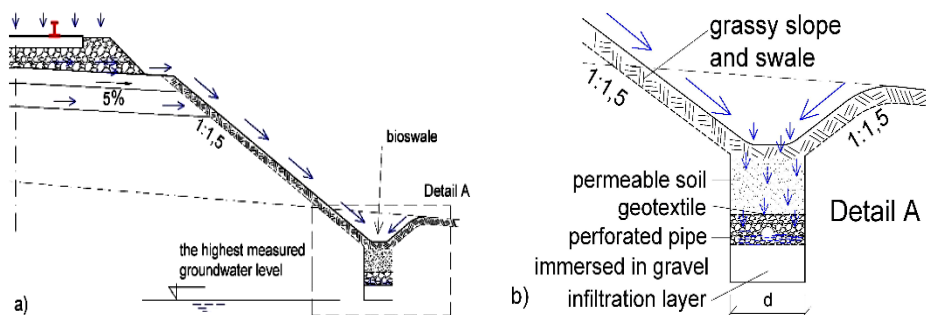
Ovi zaključci predstavljaju polaznu osnovu za dodatna istraživanja problematike taloženja teških metala na i oko železničkih pruga i definisanje novog pristupa za odvodnjavanje pruge.

4. Integrirani pristup upravljanju atmosferskim vodama

Integrirani pristup upravljanju atmosferskim vodama se definiše kao poseban pristup izgradnji ili rekonstrukciji koji ima za cilj da simulira prirodne i hidrološke procese na području na kome se izvodi, što bliže njihovom stanju pre izgradnje. Kako god da se zovu (LID, VSUD, SuDS, ...), tehnike samoodržive odvodnje imaju veoma slične ciljeve: regulacija hidrološkog ciklusa vode na održiv način, održavanje ili vraćanje režima protoka što je bliže moguće prirodnim uslovima, zaštita i remedijacija kvaliteta vode (površinske i podzemne vode), očuvanje vodnih resursa i doprinos poboljšanju pejzaža i biodiverziteta tretiranog područja. LID tehnike su podeljene u dve kategorije: tehnike zasnovane na infiltraciji i tehnike zasnovane na zadržavanju vode. LID elementi se mogu klasifikovati kao tačkasti, linearni ili površinski, a obzirom na karakteristike železničkih pruga kao moguće rešenje za odvodnjavanje atmosferskih voda nameću se linijski LID elementi [3]. Kao drenažni vodovi na otvorenim prugama se obično koriste obični travnati ili betonski kanali (slika 1). Pregledom dostupne literature nisu pronađeni podaci o karakteristikama ovakvih kanala, kako u pogledu hidroloških svojstava tako i u pogledu poboljšanja kvaliteta vode.

Kanali sa vegetacijom (bio-swale) (slika 5) zbog svog dizajna i fleksibilnosti mogu su korisni kao linijski elementi za odvodnjavanje železničkih pruga i mogu biti zamena običnim travnatim ili betonskim kanalima. Napravljeni su od lokalnog zemljišta sa zatravljenim kosinama radi sprečavanja erozije. Njihova primarna funkcija je da smanje količinu oticaja zadržavanjem vode, filtracijom i/ili infiltracijom i smanje brzinu oticanja. Zbog male brzine oticaja uzrokovane vegetacijom, sedimentacija je primarni mehanizam uklanjanja zagađivača, a poboljšanje kvaliteta vode se postiže i infiltracijom, filtracijom, sorpcijom (adsorpcijom i apsorpcijom) i nekim biološkim procesima. Sprovedena istraživanje za odvodnjavanje autoputa utvrdila su da za manje padavina skoro da nema oticanja iz kanala, jer je infiltracija potpuna, uz napomenu da su kanali za odvodnjavanje na autoputevima po položaju i geometriji veoma slični kanalima za odvodnjavanje železničkih pruga i da se razlikuju samo po veličini. Izgled kanala sa vegetacijom (bio-swale) sa filterskim slojevima za odvodnjavanje železničkog koloseka sugerise primer prikazan na slici 5.

Zavisno od karakteristika lokacije i konfiguracije terena mogu se primeniti i ostali linijski i/ili površinski LID elementi, što će biti predmet daljih istraživanja.



Slika 5. Bio swale: a) predlog lokacije i oblika, b) detalj bio swale [3]
 Figure 5. Bio swale: a) proposal for the location and shape, b) detail of the bio swale [3]

5. Zaključak

Zbog svojih specifičnosti i raznovrsnosti okruženja na koja mogu uticati, železničke pruge mogu predstavljati značajan rizik za životnu sredinu kako tokom izgradnje tako i kasnije tokom eksploatacije. Rezultati ispitivanja izvršenih na pruzi Niš-Preševo pokazuju da je evidentirano prisustvo velikog broja različitih teških metala u železničkom telu kao posledica železničkog saobraćaja, od kojih značajan broj prevazilazi dozvoljene koncentracije propisane prema regulativi Republike Srbije, kao i prema Direktivi EU. Iako su koncentracije drugih metala manje od preporučenih, važno je uzeti u obzir i ove vrednosti, jer teški metali imaju tendenciju akumulacije.

Dosadašnje mere smanjenjem emisije zagađenja su nesigurne u smislu efikasnosti zadržavanja opasnosti od zagađenja vode i zemljišta. Da bi se efekti zagađenja minimizirali, moraju se razviti nova rešenja za upravljanje atmosferskim vodama.

U radu se predlaže rešavanje problema odvodnjavanja atmosferskih voda sa železničke pruge integrisanim pristupom upravljanja atmosferskim vodama. Ovakav pristup je do sada korišćen u urbanim sredinama, ali nema ograničenja da se on primeni na železničke pruge, kao zamena postojećih tradicionalnih sistema za odvodnjavanje železničkih pruga.

Prikazani rezultati i predlog rešenja su deo istraživanja koja se sprovode na Građevinsko-arhitektonskom fakultetu Univerzitet u Nišu u okviru doktorske disertacije doktoranda Jelene Dimitrijević. Pregledom dostupne literature nisu pro-

nađeni primeri primene ovakvog pristupa kod odvodnjavanja železničkih koloseka, tako da se za sada ne mogu praviti poređenja predloženog pristupa sa sličnim pristupima u svetu, jer nema poznatih primera iz prakse.

Predlog razmatran u ovom radu trebalo bi dalje implementirati na konkretnu deonicu železničke pruge, pri čemu bi performanse koje se zaista mogu očekivati od ovakvih rešenja, kao i procenat prečišćavanja zagađivača trebalo odrediti pomoću odgovarajućih softverskih paketa i potvrditi odgovarajućim eksperimentalnim istraživanjem.

6. Zahvalnica

Autori izražavaju zahvalnost Fondu za nauku Republike Srbije koji finansira naučno-istraživački projekat „Novi koncept u poboljšanju geotehničkih svojstava tla – hemijski elektrokinetički tretman zemljišta (ElectroSoil)“, br. 7742530, u okviru koga je nabavljen XRF spektrometar korišćen za istraživanja prikazana u ovom radu.

7. Literatura

- [1] E. Murnane, A. Heap and A. Swain, Control of water pollution from linear construction projects. *Technical guidance*, CIRIA, CIRIA C648, London, 2006.
- [2] Burkhardt, Michael, Luca Rossi, and Markus Boller, Diffuse release of environmental hazards by railways, *Desalination* 226(1-3), 106-113, doi: 10.1016/j.desal.2007.02.102, 2008.
- [3] J. Dimitrijević, Z. Bonić, D. Milićević, Z. Zafirovski, Contemporary methods for protecting soil and water from the impact of railway traffic, *Facta Universitatis Series: Architecture and Civil Engineering* 8(10), 1-16., DOI: 10.2298/FUACE1401001S, 2008.
- [4] Sañudo R, Miranda M, García C, García-Sánchez D, Drainage in railways, *Construction and Building Materials*, 210, pp. 391-412, 2019.
- [5] R. Lorenzo, R. Kaegi, R. Gehrig and B. Grobety, Particle emissions of a railway line determined by detailed single particle analysis, *Atmospheric Environment*, Vol. 40, pp.7831-7841, 2006.
- [6] M. Burkhardt, L. Rossi and M. Boller, *Release of various Substances to the Environment by Regular Railway Operations*, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Dübendorf, Switzerland, 2014.
- [7] S. M. Kang J. J. Morell J. Simonsen and S. Lebow, Creosote movement from treated wood immersed in fresh water, *Forest Products Journal*, Vol. 55, No.12, pp. 42-46, 2005.
- [8] L. Becker, G. Matuschek, D. Lenoir and A. Kettrup, Leaching behaviour of wood treated with creosote, *Chemosphere*, Vol. 42, pp. 301-308, 2001.

- [9] P. T. Vo, H. H. Ngo, W. Guo, J. L. Zhou, A. Listowski, B. Du, Q. Wei and X. T. Bui, Stormwater quality management in rail transportation – Past, present and future, *Science of the Total Environment*, 512-513, pp. 353-363, 2015.
- [10] J. Dimitrijević, Z. Bonić, Z. Zafirovski, D. Milićević, D.M. Djordjević, E. Zlatanović, J. Mrmošanin, N. Marinković, LID Approach to Railway Track Drainage: Determination of Heavy Metal Content in the Embankment of Railway, *Periodica Polytechnica Civil Engineering* 68(3), 872–882, 2024, <https://doi.org/10.3311/PPci.23433>

УТИЦАЈ ОБОРИНСКИХ ВОДА СА КАМЕНОЛОМА НА КВАЛИТЕТ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ

INFLUENCE OF QUARRY RAINWATER ON ENVIRONMENTAL QUALITY

ДАРКО ВУКСАНОВИЋ¹
ДРАГАН РАДОЊИЋ²
ЈЕЛЕНА ШЋЕПАНОВИЋ³

Стручни рад
DOI: 10.5937/VIK24385V

Резиме: На каменоломима се због своје површине експлоатације, стварају оборинске воде које је потребно рјешавати на законски уређен начин, да би се заштитила животна средина. Приликом испитивања сваког површинског копа, неопходно је детаљно утврдити да ли на локацији и у окружењу има површинских и подземних токова. Обично се локација каменолома, односно експлоатационо поље налази на кречњачком подручју, тако да површинске воде које се јављају услед падавина морају рјешавати на одговарајући начин, због самог технолошког процеса који се одвија на каменолому. Да би се могао урадити адекватан прорачун оборинских вода, врши се вишегодишње праћење падавина на датом простору и то:

- средња годишња сума падавина,
- годишње колебање падавина,
- највише падавине за мјесец у години праћења,
- максималне дневне падавине,
- максималне часовне падавине.

Циљ рада је да се покаже колико је важно вршити сакупљање оборинских вода са каменолома, да би се ријешило њихов даљи третман и испуштање у реципијент, из раз-

¹ Дарко Вуксановић, Универзитет Црне Горе, Металуршко-технолошки факултет, Џорџа Вашингтона бб, Подгорица, Црна Гора, darkov@ucg.ac.me, ORCID: 0000-0003-0868-4649

² Драган Радоњић, Универзитет Црне Горе, Металуршко-технолошки факултет, Џорџа Вашингтона бб, Подгорица, Црна Гора draganra@ucg.ac.me, ORCID: 0000-0002-2577-8244

³ Јелена Шћепановић, Универзитет Црне Горе, Металуршко-технолошки факултет, Џорџа Вашингтона бб, Подгорица, Црна Гора jelenarj@ucg.ac.me, ORCID: 0000-0001-5841-4335

разлога што ове воде могу бити значајно контаминиране, тако да би њихово испуштање без претходног третмана могле имати значајан негативан утицај на квалитет животне средине.

Кључне ријечи: каменолом, оборинске воде, животна средина

Abstract: The quarries, due to their area of exploitation, generate stormwater that needs to be dealt with in a legally regulated manner, in order to protect the environment. When examining each surface mine, it is necessary to determine in detail whether there are surface and underground streams at the location and in the surrounding area. Usually, the location of the quarry, that is, the exploitation field is located in a limestone area, so surface water that occurs due to precipitation must be dealt with in an appropriate manner, due to the very technological process that takes place at the quarry.

At quarries, due to their area of exploitation, rainwater is generated, which needs to be dealt with in a legally regulated manner, in order to protect the environment. When examining each surface mine, it is necessary to determine in detail whether there are surface and underground streams at the location and in the surrounding area. Usually, the location of the quarry, that is, the exploitation field is located in a limestone area, so surface water that occurs due to precipitation must be dealt with in an appropriate way, due to the very technological process that takes place at the quarry.

In order to be able to make an adequate calculation of precipitation water, multi-year monitoring of precipitation in a given area is carried out, namely:

- mean annual amount of precipitation,
- annual fluctuation of precipitation,
- the highest rainfall for the month in the monitoring year,
- maximum daily precipitation,
- maximum hourly precipitation.

The aim of the work is to show how important it is to collect rainwater from quarries, in order to resolve their further treatment and discharge into the recipient, for the reason that these waters can be significantly contaminated, so their discharge without prior treatment could have a significant negative impact. impact on the quality of the environment..

Key Words: quarry, rainwater, environment.

1. Увод

Експлоатација каменолома, производња камених агрегата (техничко-грађевинског камена) и осталих производа одражава се на животну средину. Технолошки процеси који прате овај вид производње могу да угрозе изворишта (у смислу смањења издашности и сл) или негативно утичу на подземне воде на локалитету каменолома, присуство прашине и издувних гасова као и низ других елемената који утичу на здравље људи и животну средину [1].

Оборинске воде које се стварају на локацији каменолома морају се третирати прије њиховог евентуално даљег испуштања у реципијент. Пречиш-

ћене оборинске воде могу бити испуштене у реципијент уколико квалитетом одговарају нормама датим у Правилнику о квалитету и санитарно-техничким условима за испуштање отпадних вода, начину и поступку испитивања квалитета отпадних вода и садржају извјештаја о утврђеном квалитету отпадних вода (Сл. лист ЦГ, бр. 56/19) [2].

2. Карактеристике локације каменолома „Потоци“

Лежиште техничко-грађевинског камена „Потоци“ у географском смислу припада централном региону. Налази се у подручју истоименог мјеста, на око 3 km сјеверно од Биоча и 12 km сјевероисточно од Подгорице. Лоциран је на десној обали ријеке Мораче и захвата падине брда Вељи ум (353 m.n.m) и дубоке јаруге зване Крстати поток. Према административној подјели простор на којем се лежиште налази припада Општини Подгорица. Лежиште захвата простор између 110 и 353 m.n.m. Висинска разлика између најниже и највише коте износи око 243 m. Површина експлоатационог поља предвиђеног за I фазу истраживања је око 10 ha, док површина цјелокупног истражно-експлоатационог простора износи 34,37 ha.

До локације пројекта се долази скретањем са магистралног пута М-2 Подгорица-Колашин код ресторана „Потоци“, на макадамски пут који у дужини од 1 km води до предметног лежишта.

Одводњавање површинског копа „Потоци“

Извршеним испитивањем на овом површинском копу констатовано је да нема подземних вода. На лежишту нема ни површинских вода. Површинске воде се могу појавити само од падавина, тако да се у периоду великих падавина на овом простору јавља Крстати поток. Како је лежиште изграђено од кречњака у којем има доста пукотина, прелина и кливажа дио површинских вода ће се инфилтрирати у тло.

Код већих падавина површинска вода се каналом из водосабирника, који се налази на најнижој коти, одводи у јаругу која је повремени поток, уз претходно таложење. Подаци о интензитету падавина су врло битни за добијање што реалније слике о количини падавина. Интензитет падавина за подручје површинског копа користи се при димензионисању водосабирника као и канала за одводњавање.

Вишегодишњим праћењем падавина забиљежени су сљедећи подаци:

- средња годишња сума падавина 1.653 mm,
- годишње колебање падавина креће се од 40 - 232 mm,
- највише падавина је у мјесецу новембру 232 mm,
- максималне дневне падавине су 226,8 mm
- максималне часовне падавине износе 50 mm,

Коефицијент отицаја представља однос отекле и пале воде. Његова вриједност се креће од 0 до 1. Коефицијент директног отицаја зависи од физичко-топографских карактеристика сливног подручја, усваја се коефицијент отицаја од 0,5. Сливна површина је величине 163.800 m², а добијена је преко вододјелница са ситуационог плана.

мјеродавна количина воде износи:

$$Q_v = P \cdot i \cdot x \cdot a, m^3/s$$

гдје је:

P - сливна површина, km²

i - интензитет падавина, m³/s/km²

a - коефицијент отицаја

$$Q_v = 0,163 \cdot 5,55 \cdot 0,5$$

$$Q_v = 0,45 m^3/s$$

Водосабирник са димензијама приказан је на слици 1, изграђен на најнижој коти етаже, његове димензије се не одређују да мора да прими сву воду за осам часова пошто је то у ствари таложник. Канал за одводњавање изграђује се да одводи воду из водосабирника - таложника у јаругу. Канал за довођење воде у водосабирник није потребно изграђивати зато што ће вода гравитацијски због нагиба етажне равни ићи у водосабирник. Попречни пресјек канала приказан је на слици 2, а његова дужина је 23 m.

- прорачун и димензионисање канала за одводњавање

За нагиб страница канала од $\alpha=45^\circ$ и усвојену дубину канала $h=0,3$ m, добијају се сљедеће вриједности:

- ширина горње основе канала:

$$b = 2,82 \cdot h, m$$

$$b = 2,82 \cdot 0,3$$

$$b = 0,84 m$$

- ширина доње основе канала:

$$S = 0,82 \cdot h, m$$

$$S = 0,82 \cdot 0,3$$

$$S = 0,24 m$$

- површина попречног пресјека канала:

$$F = 1,82 \cdot h^2, m^2$$

$$F = 1,82 \cdot 0,3$$

$$F = 0,546, m^2$$

- оквашени обим канала:

$$U = 2 \times h \times \sqrt{2 + S}, m$$

$$U = 2 \times 0,3 \times \sqrt{2 + 0,24}$$

$$U = 1,08 m$$

- хидраулички радијус:

$$R = F/U, m$$

$$R = 0,546/1,08$$

$$R = 0,5 m$$

- коефицијент C се рачуна по формули Базина и зависи од коефицијента храпавости γ и за необложене зидове корита канала чврстих стијена износи 0,85.

$$C = \frac{87\sqrt{R}}{\gamma + \sqrt{R}}$$

$$C = \frac{87\sqrt{0,5}}{0,85 + \sqrt{0,5}}$$

$$C = 3,96$$

- брзина протицаја воде у каналу, рачуна се по обрасцу:

$$V = C \times \sqrt{R \times J}, m/s$$

$$V = 3,96 \times \sqrt{0,5 \times 26}$$

$$V = 14,27 m/s$$

гдје је:

J – уздужни пад канала који се добија из уздужног пресека канала по формули:

$$J = \Delta H \times 100/L, (\%)$$

гдје су:

ΔH – висинска разлика канала (6 m)

L – дужина канала (23 m)

$$J = 6 \times 100/23$$

$$J = 26\%$$

- пропусна моћ канала износи:

$$Q_k = F \times V, m^3/s$$

$$Q_k = 0,546 \times 14,27$$

$$Q_k = 7,79 m^3/s$$

- коефицијент сигурности се провјерава из сљедећег односа:

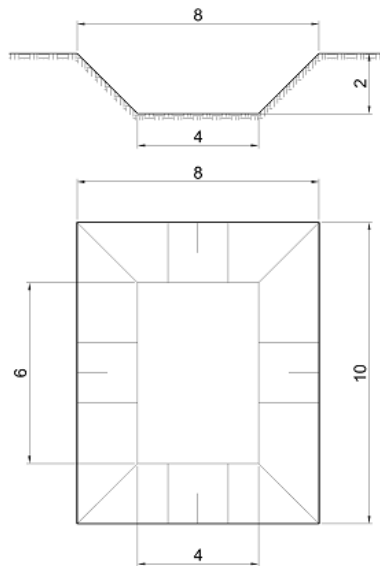
$$n = Q_k/Q_v$$

$$n = 7,79/0,45$$

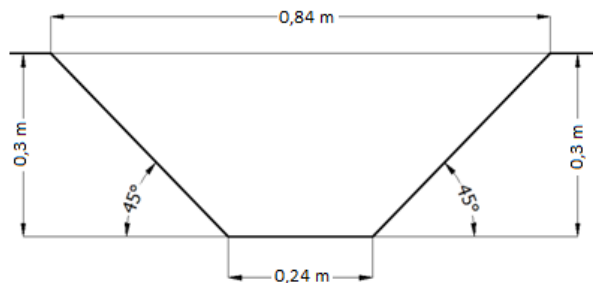
$$n = 17,3$$

што задовољава услов, јер n треба да је минимални од 1,1-1,3.

На сликама 1 и 2 приказан је водосабирник са димензијама и попречни пресјек канала [3].



Слика 1. Водосабирник са димензијама
Figure 1. Water collector with dimensions



Слика 2. Попречни пресјек канала
Figure 2. Channel cross-section

Проблеми ванредне заштите копа од утицаја атмосферских вода које директно падну у отворену зону копа при могућим екстремним падавинама–хидрогеолошки максимум су скоро немогући из разлога што су коп и плато тако конструисани да вода гравитационо отиче из зоне копа, односно ван контуре копа ка најнижим тачкама.

Анализом хидрогеолошких карактеристика лежишта и окружења, пројектоване конструкције површинског копа и других утицајних фактора, као и искуствено-техничких показатеља дошло се до закључка да у овој фази израде техничке документације није неопходно пројектовање и извођење озбиљнијих објеката заштите копа од утицаја површинских и подземних вода. При екстремним падавинама и хидрогеолошком максимуму на овом простору неопходно је организовати оскултације режима вода.

Карактеристике локације каменолома „Биоча“

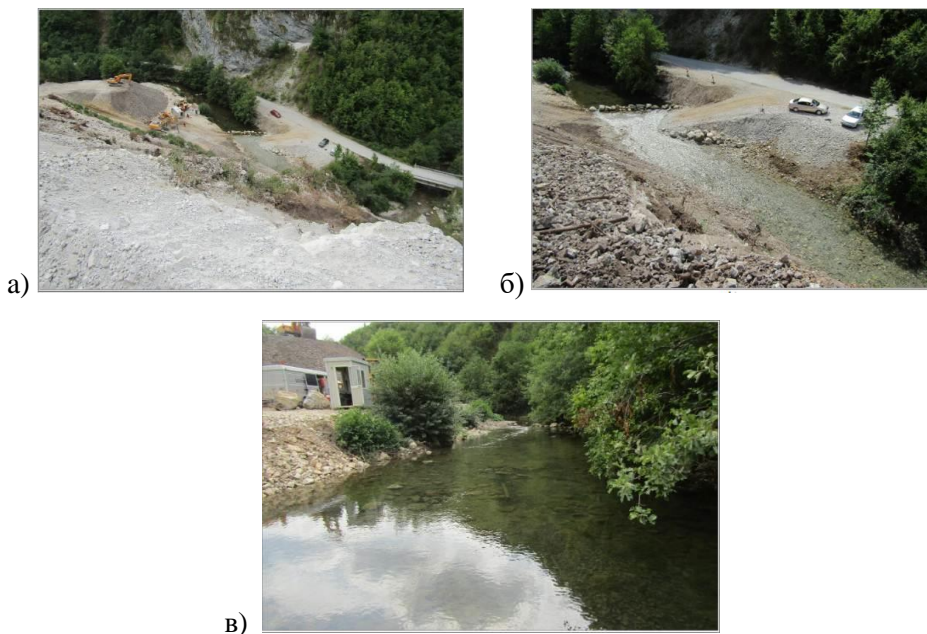
Лежиште техничко-грађевинског камена „Биоча“ припада подручју општине Бијело Поље. Налази се у клисури ријеке Љешнице, на око 1,6 km узводно од истоименог села Биоча, око 20 km југоисточно од Бијелог Поља и око 15 km сјеверозападно од Берана. Лоцирано је на десној обали ријеке Љешнице и захвата падине брда Мале рудине (1.048 m.n.m.) и дубоку безимену суву јаругу. Према административној подјели простор на којем се лежиште налази припада Општини Бијело Поље.

Висинска разлика између најниже (гранична тачка 30 - 654 m.n.m.) и највише коте (гранична тачка 2 - 876 m.n.m.) у оквиру истражно-експлоатационог простора износи око 222 m. Саобраћајне везе у ужем и ширем подручју истражно-експлоатационог простора су веома добре, када се ради о друмском саобраћају. До лежишта постоји локални асфалтни пут Биоча-Петњица, дужине око 1,6 km којим је предметно лежиште, као и подручје Петњице и Бихора повезано са магистралним путем М-2 Бијело Поље-Беране, у мјесту Биоча. Изглед лежишта техничко-грађевинског камена „Биоча“ приказан је на слици 3.



Слика 3. Изглед лежишта техничко-грађевинског камена „Биоча“
Figure 3. View of the deposit of technical and construction stone „Bioča“

На слици 4 приказан је положај локалног асфалтног пута Биоча-Петњица и ријеке Љешнице у односу на локацију експлоатационог поља техничко-грађевинског камена „Биоча“.



Слика 4. Положај локалног асфалтног пута Биоча-Петњица и ријеке Љешнице у односу на локацију експлоатационог поља техничко-грађевинског камена „Биоча“

Figure 4. Location of the local asphalt road Bioča-Petnjica and the river Lješnica in in relation to the location of the exploitation field of technical-building stone „Bioča“

Са слике 3 се види да између локалног асфалтног пута Биоча-Петњица протиче ријека Љешница, која се налази са јужне стране и у подножју експлоатационог поља. На слици 3ц приказано је корито ријеке Љешнице у самом подножју лежишта „Биоча“.

Одводњавање површинског копа „Биоча“

Истражно-експлоатациони простор лежишта „Биоча“ карактерише стрм терен са банковитим и слојевитим кречњацима, а површински коп припада брдско-висинском типу гдје надморска висина варира између 650-1.100. Истражни простор се дренажира преко ријеке Љешнице која се улива у ријеку Лим на око 1,5 km у правцу сјеверозапада, што изискује примјену мјера заштите воденог тока од гравитирајућих оборинских вода. Хидрогелолошке

прилике дефинисане су климом, литолошким саставом, геолошком грађом, начином залијегања и морфолошким карактеристикама. У истражно-експлоатационом простору нема сталних ријечних токова, док у непосредној близини истражно-експлоатационог простора, поред локалног пута Биоча-Петњица постоји један каптирани извор (чесма), сјеверозападно од лежишта.

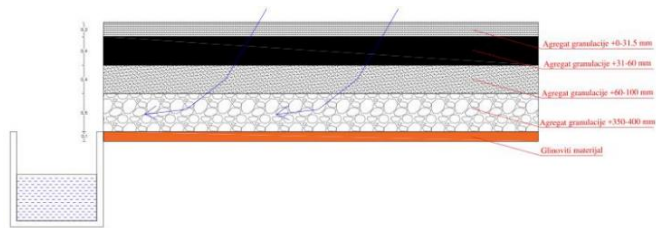
Сви утицајни елементи указују да су хидрогеолошке прилике на самом лежишту прилично једноставне као и да воде свеобухватно посматрано не могу значајно угрозити експлоатацију кречњака.

Шире подручје истражно-експлоатационог поља у хладнијем дијелу године обилује великом количином падавина, али такође неопходно је нагласити због крењачког карактера значајна количина воде понире, стварајући подземне токове и издани. Анализом евентуалног утицаја вода које гравитирају у истражно-експлоатациони простор, као падавине или подземне капиларне воде које се могу појавити на косинама, долази се до закључка да је због конфигурације терена која је стрма потребно извести превентивни заштитни канал који би представљао основни реципијент вода које се одливају слободним падом према ријеци Љешници. У оквиру копа не постоји опасност од појаве бујичног извора, али евидентно је да ће се у зимским периодима слободним падом воде сливати према најнижој етажној равни 665 mпv. Конкретна ситуација на површинском копу „Биоча“ указује да се на овом локалитету не мора градити сложени систем заштите површинског копа од вода, али да је неопходно због превентивног карактера извршити изоловање зоне истражно-експлоатационог простора од корита ријеке Љешнице. Пројектним рјешењем предвиђено је да се изврши уградња изолационог слоја читавом дужином пута који би спречавао понирање воде, а омогућавао контролисано дренарање у канал који би прикупљао воду. Приступни пут који води до најниже етажне равни налази се непосредно изнад корита ријеке и цјелокупне гравитирајуће воде доспијеваће слободним падом до њега. Превентивним дјеловањем мора се одговорно приступити како би се спријечило дјеловање неведених вода на ријечни ток који се граничи са површинским копом.

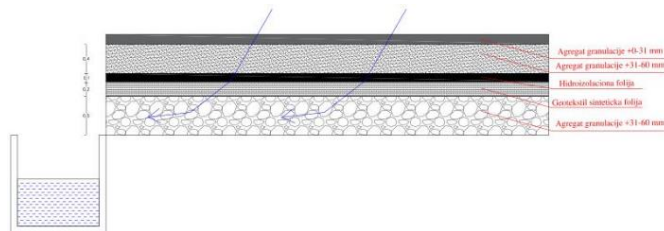
У раној, односно почетној фази постоје услови да се изврши изградња приступног пута чији попречни пад ће бити према ободном канулу, а упоредо са предметном активношћу извршиће се изолација пута. Изолација пута спријечиће понирање вода и директно одливање у оближни ријечни ток, а извршиће усмјерено одвођење вода у канал. Изоловање приступног пута може се извршити помоћу природних или вјештаких материјала. Уколико се намјерава приступити постављању природних изолатора потребно је извршити откоп 1,5 m постојећег пута, нивелисати подлогу и извршити наношење слоја

глине који ће се набијати, а на њега ће се пажљиво нанијети слој камена дебљине 0,5 m гранулације од 350 до 400 mm. Наведене активности потребно је изводити по сувом времену како би се постигли жељени ефекти. Постављање изолатора наставља се са насипањем слојева гранулације 60-100 mm у дебљини од 40 cm, гранулације 31,5-60 mm у дебљини од 40 cm и финални слој гранулације 0-31 mm у дебљини од 20 cm. Такође, постоји могућност да се уградњом вјештачких геотекстилних материјала изврши изолација постављањем фолија и геотекстилних филтрирајућих влакана који би прикупљали воду са пута у ободни канал.

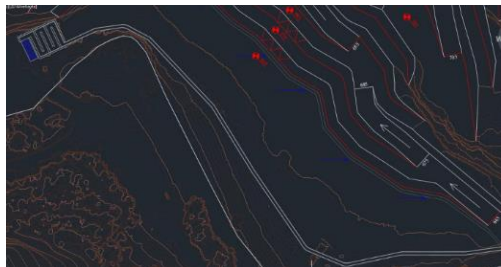
На сликама 5, 6 и 7 приказана је природна и вјештачка изолација и ободни канал и таложник [3].



Слика 5. Природна изолација и канал за прикупљање воде
Figure 5. Natural insulation and water collection channel



Слика 6. Вјештачка изолација и канал за прикупљање воде
Figure 6. Artificial insulation and water collection channel



Слика 7. Ободни канал и таложник на ситуационој карти
Figure 7. Channel and settling tank on the situational map

3. Закључак

На основу свега наведеног може се закључити следеће:

- На основу приказаних података, јасно се може видјети да техничко-технолошка рјешења и прорачуни зависе од самог локалитета и његовог положаја. У конкретним случајевима, техничко-технолошка рјешења се значајно разликују, јер се локација каменолома „Потоци“ не налази у близини водотока, док то није случај са каменоломом „Биоча“.
- Техничко-технолошко рјешење за каменолом „Биоча“ је знатно захтјевније и сложеније. Наиме, примјеном наведеног система за каменолом „Биоча“ осигурало би се постепено таложјење наносног материјала из воде која гравитира из копа, а такође би се правилно постављеном конструкцијом изолатор гранулат омогућило додатно филтрирање. На самом ободном каналу поред бетонских баријерних прелива монтираће се и заштитне решетке које ће задржавати крупне предмете и отпад који би заједно с водом могли доспјети у спирални таложник, а затим и у сеператор. Изградња ободног канала спријечиће одливање вода са површинског копа директно у ријечно корито ријеке Љешнице, а омогућиће њено усмјеравање на гравитациони таложник, који ће се изградити на излазном дијелу система одводњавања. Предвиђено је да се на излазу, односно на завршном дијелу на најнижој зони пута, гдје се завршава ободни канал, направи у трупу пута спирални таложник са пресипним рампама гдје ће се гравитацијом циједити крупне честице из наноса, а вода одводити директно у сеператор уља и масти, који се поставља на самом крају. Вода, из које се таложним процесом дјелимично одстране крупнозрне честице, након проласка кроз спирални таложник пролазиће кроз сепаратор за уља и нафтне деривате, који се монтира на излазу из спиралног таложника, а филтрацијом и гравитационим одвајањем постиже се висок степен продуктивности уређаја. Обавеза је да се врши константан мониторинг стања на терену, редовно обавља чишћење ободног канала и спиралног таложника, нарочито у току обилних падавина и наглог отапања снијежног прекривача. Препорука је да се у приправности на каменолому обезбиједи редовно присуство мини багера који би са малом корпом и помоћним прибором могао одржавати систем одводњавања. Обавеза одговорних лица која руководе производним процесом је да контролишу, одржавају и осигурају да се из сливне површине самог површинског копа не одливају опасне материје. Одговорним односом усклађеним са метеоролошким прогнозама, сталним каналисањем и усмјеравањем сливних праваца постићи ће се потпуно контролисан ефекат, а посебна пажња мора се усмјерити на спречавање изливања неорганских материја у водени ток ријеке Љешнице.

- Без обзира на усвојена техничко-технолошка рјешења, све оборинске воде се морају третирати на одговарајући начин, а да би даље могле бити испуштене у реципијент морају одговорати условима Правилника о квалитету и санитарно-техничким условима за испуштање отпадних вода, начину и поступку испитивања квалитета отпадних вода и садржају извјештаја о утврђеном квалитету отпадних вода (*Сл. лист ЦГ*, бр. 56/19), што омогућава адекватну заштиту животне средине.
- На основу датих техничко-технолошких рјешења потребно је вршити одговарајући мониторинг квалитета третираних отпадних вода, да би се утврдила поузданост усвојених рјешења.

4. Литература

- [1] Каламанда О, Утицај каменолома Гата код Бихаћа на квалитет ваздуха, часопис, *Пословне студије*, 2014, 11-12, стр. 157-170.
- [2] Правилник о квалитету и санитарно-техничким условима за испуштање отпадних вода, начину и поступку испитивања квалитета отпадних вода и садржају извјештаја о утврђеном квалитету отпадних вода *Сл. лист ЦГ*, бр. 56/19.
- [3] Главни рударски пројекат експлоатационог поља техничко-грађевинског камена „Биоча“, 2018.

PRIMENA RETENCIONIH BAZENA ZA SMANJENJE UTICAJA KLIMATSKIH PROMENA NA POSTOJEĆE SISTEME ATMOSFERSKE KANALIZACIJE

APPLICATION OF RETENTION BASINS TO REDUCE THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON EXISTING STORMWATER DRAINAGE SYSTEMS

GOCE TASESKI¹

NIKOLA KRSTOVSKI²

Stručni rad

DOI: 10.5937/VIK24397T

Rezime: Sve češće smo svedoci pojave kratkotrajnih i intenzivnih padavina koje se manifestuju plavljenjem urbanih sredina i nanošenjem velike finansijske štete, a ne retko i gubitkom ljudskih života. Stoga je sve izvesnije da se odmah moramo suočiti sa izazovima klimatskih promena, koji zahtevaju primenu inženjerskih znanja kako bi se smanjio njihov uticaj, posebno u oblasti prihvatanja i bezbednog odvodnjavanja atmosferskih voda. Svrha ovog rada je da se analizira primena retencionih bazena za smanjenje vrhova oticanja atmosferskih voda primenom hidrauličkog modeliranja postojeće atmosferske kanalizacije. Naime, retencioni baseni postaju sve potrebni kada je u pitanju savremeno urbanističko planiranje gradova, gde retencioni baseni predstavljaju jezera za prihvatanje poplavnog talasa sa površina koje gravitiraju ka urbanim centrima.

Ključne reči: retencioni bazeni, atmosferska kanalizacija, hidraulički model

Abstract: We are increasingly witnessing the occurrence of short-term and intense rainfall, which manifests in the flooding of urban areas, causing significant financial damage, and in certain cases it can cause loss of human lives. Therefore, it is becoming more evident that we must immediately confront the challenges of climate change, which primarily require the application of engineering knowledge to reduce their impact, especially in terms of accepting and safely draining stormwater. The aim of this paper is to analyze the application of retention basins to reduce peak stormwater runoff by using hydraulic modeling of the existing stormwater drainage system. Specifically, retention basins are becoming increasingly nece-

¹ Goce Taseski, Univerzitet Sv. Kiril i Metodije, Građevinski fakultet, Bulevar partizanskih odreda 24, Skoplje, Severna Makedonija, taseski@gf.ukim.edu.mk, ORCID: 0000-0002-4415-0321

² Nikola Krstovski, Građevinski fakultet, Bulevar partizanskih odreda 24, Skoplje, Severna Makedonija, nikolatudence@gmail.com, ORCID: 0009-0008-7602-171X

ssary in modern urban planning, where they serve as reservoirs for floodwaters from areas that gravitate towards urban centers.

Key Words: retention basins, stormwater drainage system, hydraulic model

1. Uvod

Klimatske promene se sve više manifestuju u svakom delu sveta kroz pojavu intenzivnih padavina koje izazivaju poplave, posebno u urbanim sredinama. Naime, danas je u gradovima širom sveta sve veći izazov pronalaženja ekonomskih inženjerskih rešenja za upravljanje atmosferskim vodama, koja će poboljšati otpornost gradova na uticaj klimatskih promena [1].

Sa inženjerske tačke gledišta, najbolja praksa za upravljanje atmosferskim vodama u cilju zaštite od poplava su retencioni baseni – jezera, koje omogućavaju kontrolisano curenje velikih količina vode [1, 2]. Iako su se ovakva tehnička rešenja u prošlosti smatrala korisnim za pojavu ekstremnih količina atmosferskih voda – 100 godina vode, uz veliku urbanizaciju prostora, primena retencionih bazena je sve prisutnija i za atmosferske vode sa mnogo kraćim periodom povratka.

U ekonomski razvijenim zemljama, gde dolazi do pojave intenzivnih padavina, retencioni rezervoari se sve više koriste u dvorištima stanara (slika 1-levo), a kao gradski parkovi, stadioni, dečja igrališta, deo ispod saobraćajnica itd. retencioni bazeni. (slika 1-desno).



Slika 1. Primeri projektovanih retencionih rezervoara za prijem atmosferskih voda u dvorištima (levo), na urbanim površinama (desno)

Figure 1. Examples of designed ponds for receiving storm water in yards (left), on urban areas (right)

Svrha ovog rada je da se analizira uticaj primene retencionih bazena na količinu atmosferskih voda koje bi se ispuštale iz slivnih područja postojeće kanalizacione mreže za grad Bitola so korišćenjem softverskog paketa SWWM (Storm Water Management Model).

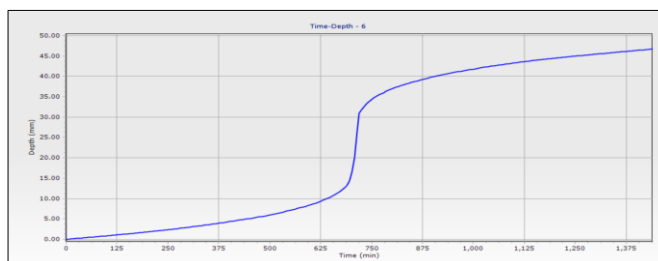
2. Hidrološki hidraulički model

Hidrološko-hidraulični model je urađen sa podacima iz već izgrađene atmosferske kanalizacije za deo grada Bitola, pri čemu su korišćeni sledeći geometrijski parametri: veličina i tip slivnih površina, kote terena, kote dna šahta, dužina, materijal i prečnika na cevima. Na slici 2 je šematski prikazan analizirani sistem atmosferske kanalizacije.



Slika 2. Šematski prikaz modela za analiziranu atmosfersku kanalizaciju
Figure 2. Schematic view of the model for the analyzed storm water system

Pored prethodno pomenutih geometrijskih karakteristika za analizu u SWMM, ključni ulazni parametar je kriva visine padavina tokom vremena za period povratka od 10 godina.

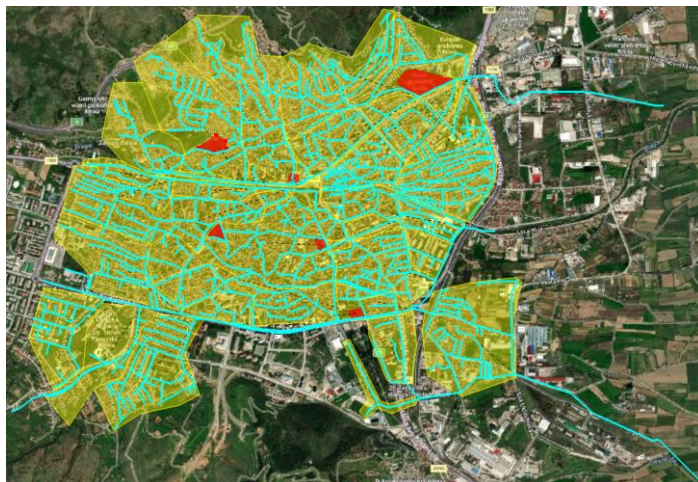


Slika 3. Karakteristične krive količine kiše koja pada u funkciji vremena za povratni period od 10 godina
Figure 3. Characteristic curves of the amount of rain as a function of time and return period of 10 years

2.1. Izbor lokacije i veličine retencionih bazena

Kao što je već pomenuto u uvodnom delu, retencionni bazeni se najčešće postavljaju u gradskim parkovima, stadionima, dečjim igralištima, delu ispod saobra-

ćajnica itd. I u ovom slučaju, prilikom izbora lokacije retencionih bazena, izabran je upravo ovaj tip lokacije - uglavnom postojeći parkovi i gradski parkingi, na slici 4 crvenom bojom je prikazana lokacija budućih retencionih bazena, dok pomeranje retencionih bazena zavisi od njihove površine i lokalnih uslova da bi se obezbedila dovoljna dubina. Dakle, u ovom slučaju nije utvrđeno željeno curenje i tada je utvrđena zapremina retencionog bazena kao što je uobičajeno, ali se u zavisnosti od raspoložive zapremine određuje curenje.



Slika 4. Lokacija budućih analiziranih retencionih bazena
Figure 4. Location of future analyzed ponds

2.2. SCS metoda za konstrukciju hidrograma oticanja

SCS metod su ranih 1950-ih razvili Ministarstvo poljoprivrede Sjedinjenih Država (USDA) i Služba za očuvanje prirodnih resursa (NRCS), tada nazvana Služba za očuvanje zemljišta (SCS), po čemu je i dobio naziv ove metode. Soil Conservation Service – Curve Number (SCS CN) metoda je jedna od najpopularnijih metoda za proračun površinskog oticanja sa malih poljoprivrednih, šumskih ili urbanih slivova [2].

SCS metoda se zasniva na jednačini vodnog bilansa (1) za kišu sa poznatim vremenskim intervalom [2].

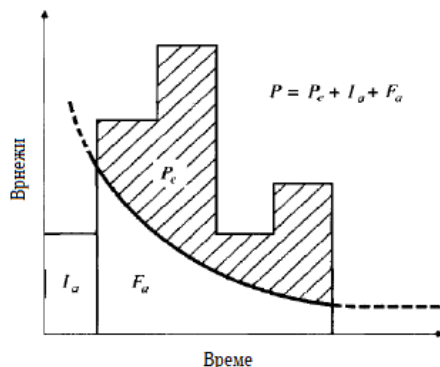
$$P = I_a + F_a + P_e \quad (1)$$

Gde: P – ukupna količina padavina

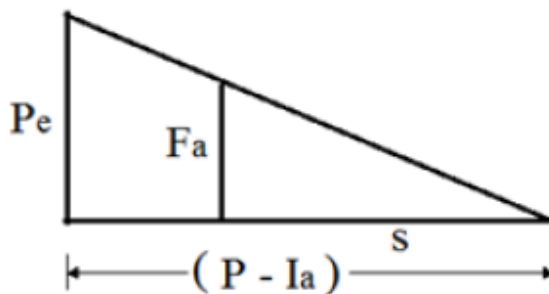
I_a – početni gubici

F_a – kumulativna infiltracija bez početnih gubitaka

P_e – direktno površinsko oticanje



Slika 5. Promenljive u SCS metodi
Figure 5. Variables in the SCS method



Slika 6. Proporcionalni prikaz prvog koncepta
Figure 6. Proportional representation of the first concept

Dva druga koncepta, o kojima se govori u nastavku, koriste se sa jednačinom vodnog bilansa

- Prva konceptualna jednačina (2) glasi: odnos direktnog curenja (P_e) i maksimalnog potencijalnog curenja ($P - I_a$) jednak je odnosu trenutne infiltracije (F_a) prema potencijalnom maksimalnom zadržavanju S slika 5.
- Drugi koncept glasi: iznos početnih gubitaka (I_a) je deo maksimalnog zadržavanja (S) ek. (3).

$$\frac{P_e}{P - I_a} = \frac{F_a}{S} \quad (2)$$

$$I_a = \lambda \cdot S \quad (3)$$

Na osnovu opsežnih merenja malih slivova, SCS (1985) je usvojio $\lambda = 0,2$ kao standardnu vrednost. Ako je ukupna količina padavina $P < I_a$ onda je oticanje $P_e = 0$. Dok je $P > I_a$, tada se oticanje može izračunati.

Sređivanjem navedenih formula dobija se konačan oblik jednačine za proračun površinskog oticanja rav (4)

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (4)$$

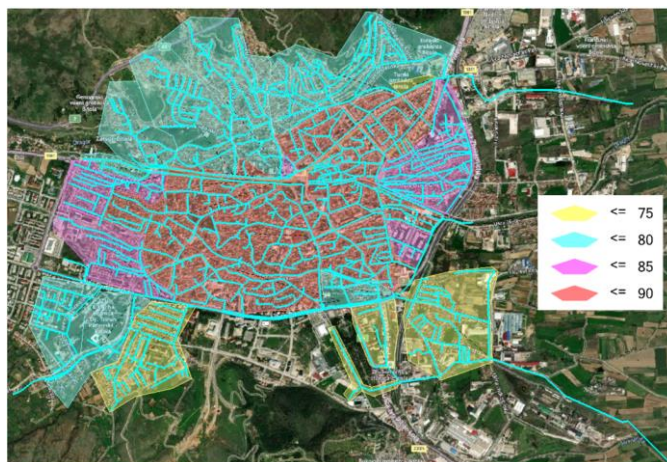
Parametar S predstavlja potencijalno maksimalno zadržavanje i zavisi od tipa zemljišta, vegetacije, korišćenja zemljišta, vlažnosti zemljišta pre početka kiše. Za praktičnu primenu, SCS je izrazio S (mm) u odnosu na bezdimenzionalni parametar CN (Broj krive) ekv. 5.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (5)$$

Konstanta 254 se koristi za transformaciju maksimalnog zadržavanja potencijala S u mm. Oдавde, ako izrazimo CN, dobija se sledeća jednačina:

$$CN = \frac{25400}{S + 254} \quad (6)$$

Bezdimenzionalni parametar CN kreće se od $0 < CN < 100$. Ako je $CN = 100$ onda imamo nepropusnu podlogu na slivu, dok ako je $CN = 0$ onda je to beskonačno nepropusna podloga. Ovaj koeficijent zavisi od tipa zemljišta, prethodne vlažnosti zemljišta i korišćenja zemljišta. Sledeća slika prikazuje usvojene vrednosti CN parametra.

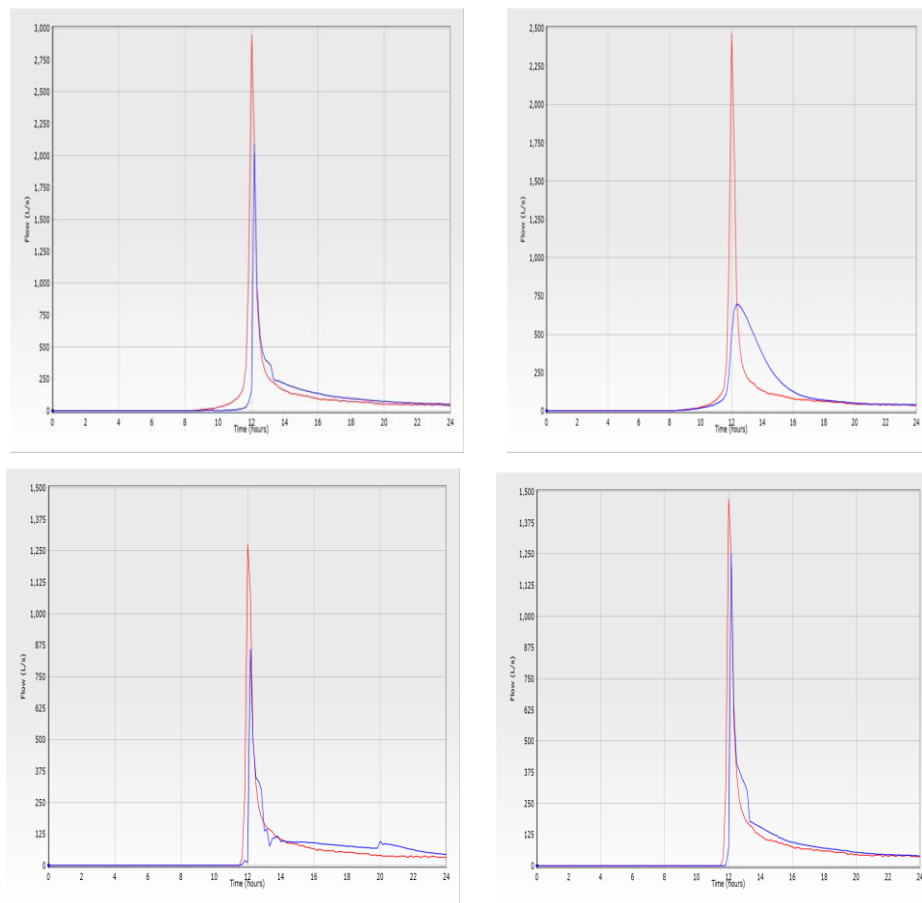


Slika 7. Usvojeni parametri za CN
Figure 7. Adopted parameters for CN

3. Rezultati iz hidrološkog hidrauličkog modela

Kao što je već pomenuto za Studiju slučaja, atmosferska kanalizacija je korišćena za deo grada Bitola, i to za prilično urbanizovano područje u kome nema mnogo prostora za izgradnju retencionih bazena, pa su zelene površine maksimalno isko-

rišćene. Dakle, ovim hidrološkim hidrauličkim modelom, kroz analizu primene retencionih bazena, jasno se pokazuje njihov uticaj na veličinu hidrograma curenja. Urađena je analiza hidrograma curenja pre i posle izgradnje retencionih bazena.



Slika 8. Izlazni rezultati modela
Figure 8. Model output results

Prema prikazanim rezultatima hidrološkog hidrauličkog modela, može se zaključiti da primena retencionih bazena u urbanim sredinama, kada je prostor za njihovu primenu ograničen, nije uvek moguća, što se u stvari vidi sa slike 8 (dole desno) gde je zbog ograničenog prostora zapremina retencionog bazena mala i njen uticaj na hidrogram oticanja je neznatan. Ali ako ponovo pogledate sliku 8 (ostali rezultati) gde ima dovoljno prostora za izgradnju retencionog bazena njegov uticaj na hidrograf oticanja i kako je značajan.

4. Zaključak

Sve više se pokazuje da urbanizacija gradova direktno utiče na klimatske promene, što se manifestuje kratkotrajnim intenzivnim padavinama koje direktno izazivaju česte poplave i nanose ogromnu ekonomsku i bezbednosnu štetu. Primena tehničkih mera za smanjenje uticaja pojačanih intenzivnih padavina sve više postaje neizbežna u našoj zemlji. Stoga se analizom studije slučaja za deo kanalizacionog sistema grada Bitola pokazuje da ukoliko se obezbedi dovoljna površina za izgradnju retencionih bazena, oni takođe smanjuju vrh hidrograma curenja. Ali u delovima gde ne postoje prostorni uslovi, ne treba razmišljati o primeni ove vrste mera za smanjenje vrha hidrograma oticanja.

Takođe je značajno napomenuti da se ukupna zapremina vode u retencionim bazenima ne menja, već se smanjuje samo na vrhuncu količine atmosferskih voda, što je opet uzrok poplava u urbanim sredinama. Takođe, pored smanjenja količine atmosferskih voda u kanalizaciji, ovo zadržavanje vode indirektno utiče na smanjenje potreba za vodom iz vodovoda jer se akumulirana voda može koristiti kao tehnička voda i voda za navodnjavanje okoline. oblastima.

5. Literatura

- [1] Maine Department of Environmental Protection. Stormwater Management for Maine, Maine Department of Environmental Protection, Augusta, Maine. (No.DEPLW0738), 2006.
- [2] City of Austin, TX Environmental Criteria Manual American Legal Publishing Corporation, Cincinnati, OH, 2011.
- [3] California Stormwater Quality Association. California Stormwater BMP Handbook-New Development and Redevelopment (TC-12). Menlo Park, CA, 2003.
- [4] Jaber F. H. and Shukla S. Hydrodynamic modeling approaches for agricultural stormwater impoundments. *J. of Irr. and Drain. Eng.*, 131(4): 307-315, 2005.
- [5] Jaber G. H. and Shulka S. Accuracy of Hydrodynamic modeling of flood detention reservoirs. *J.Hydrol. Eng.*, 12(2): 225-230, 2007.
- [6] Emerson C, Welty C. and Traver R. WatershedScale Evaluation of a System of Storm Water Detention Basins, *Journal of Hydrologic Engineering*, 10(3):237-242, 2005.

ЗНАЧАЈ УСКЛАЂЕНОСТИ ВИСИНСКИХ СИСТЕМА ПРИ РЕАЛИЗАЦИЈИ КАНАЛИЗАЦИОНИХ МРЕЖА

ON THE IMPORTANCE OF HEIGHT SYSTEMS CONCORDANCE IN THE PROCES OF SEWERAGE SYSTEMS REALIZATION

ТИНА САВИЋ ТОМИЋ¹

СРЕТЕН ЂУРИЋ²

ЖЕЉКО ТРАЈИЛОВИЋ³

МИЛАН ПЕШИЋ⁴

ЖАРКО НЕСТОРОВИЋ⁵

Стручни рад

DOI: 10.5937/VIK24405T

Резиме: За функционисање канализационих система неопходно је правилно дефинисати висински систем и извести систем цеви према пројектованим падовима и висинама прикључака. Правилно извођење односно остваривање пројектованих падова и висина прикључака при извођењу канализационих мрежа може се остварити једино правилним дефинисањем висинског система за конкретну канализациону мрежу. Висински систем канализационе мреже треба да се успостави на основу дефинисаних висина прикључака које се усвајају као дате висине. Пре успостављања висинске основе за посматрану канализациону мрежу неопходно је извршити проверу висина и висинских разлика између предефинисаних прикључака. У овом раду разматра се питање толеранција, грешака одређивања висина и висинских разлика, као и висинске основе за хипотетичку канализациону мрежу.

Кључне речи: толеранција, геодетска мерења, грешке висина, грешке висинских разлика

Abstract: For gravity sewerage system it is necessary to establish proper system of heights. The proper realization of designed pipelines' slope and the heights of their end points require

¹ Тина Савић Томић, Електропривреда Србије ад, Масарикова 1-3, Београд, Tina.Savic-Tomic@eps.rs, ORCID: 0009-0000-8113-0621

² Сретен Ђурић, Електропривреда Србије ад, Масарикова 1-3, Београд, Sreten.-Djuric@eps.rs, ORCID 0009-0005-0357-2754:

³ Жељко Трајиловић, Ђердап Услуге АД, Ђердапски пут бб, Кладово, Zeljko.-Trajilovic@eps.rs, ORCID: 0009-0001-4123-3869

⁴ Милан Пешић, Електропривреда Србије ад, Масарикова 1-3, Београд, Milan.-S.Pesic@eps.rs

⁵ Жарко Несторовић, ЕПС АД Београд, zarko.nestorovic@eps.rs, ORCID: 0000-0002-7928-7416

system of heights adapted for every single sewerage system. The link points of sewerage system should be treated as the given points which define the datum of height system. Before establishing the system of heights for the purpose of sewerage system realization it is necessary to check the actual heights of given points and the height differences between them. In this paper some results are given based on the discussion of the relation between tolerance, heights of points and height differences from the aspect of height network designed for sewerage systems realization.

Key Words: tolerance, geodetic measurements, error of heights, error of height difference.

1. Увод

Гравитационе канализационе мреже представљају један од најефикаснијих начина за одвођење отпадних вода. Ефикасност функционисања канализационих мрежа зависи од правилног димензионисања пречника цеви, нагиба цеви и висина прикључака. Предмет истраживања у овом раду је правилно спровођење поступка извођења канализационе мреже у висинском смислу. Разлог за ово истраживање јесте потенцијална некритичка примена савремених геодетских технологија при реализацији висинских геодетских мрежа (висинских система за канализационе мреже) и некритички приступ у избору висинских система. Како је резултат истраживања далеко обимнији од могућности приказа, у овом раду ће бити истакнути само најбитнији елементи приступа формирања висинске основе за реализацију висинских мрежа у процесу изградње канализационих система.

2. Толеранција и тачност мерења висинских разлика

Под толеранцијом се подразумева дозвољено одступање димензије неког елемента у односу на његову пројектовану димензију док је тачност мерења дефинисана као одступање измерене величине у односу на њену истиниту вредност. Како истинита вредност никада није позната у теорији грешака мерења уводи се појам стандарда мерења односно средње грешке мерења како би се дефинисао интервал у коме се може налазити резултат мерења са унапред усвојеном вероватноћом [1]. Према стандарду DIN 17810 [2] однос толеранције и грешке мерења дефинише се на следећи начин:

$$10\% \leq \frac{\sigma_x}{T} \leq 20\% \quad (1)$$

где је: σ_x – стандард мерења,

x – мерена величина и

T – толеранција.

Наведени однос између толеранције и тачности мерења значи да тачност мерења одређене величине мора бити пет до десет пута већа од толеранције односно да стандард мерења мора бити пет до десет пута мањи од толеранције.

Смисао грешке мерења своди се на утврђивање интервала у коме се налази резултат мерења са подједнаком вероватноћом и може се описати на следећи начин

$$a \leq x - l\sigma_x < x + l\sigma_x \leq b \quad (2)$$

где је:

a – минимална вредност мерене величине за дату вероватноћу,

b – максимална вредност мерене величине за дату вероватноћу,

l – квантил расподеле за усвојену вероватноћу и

x – измерена вредност мерене величине.

Квантил расподеле (l) зависи од расподеле коју следе резултати мерења и од нивоа значајности односно усвојене вероватноће (p). У овом раду усвојићемо претпоставку да резултат мерења следи нормалну расподелу одакле следи да је за вероватноћу $p = 95\%$ вредност квантила $l = 1.960$, док је за вероватноћу $p = 99.9\%$ вредност квантила $l = 3.090$ [1].

3. Системи висина и нагиби код канализационих мрежа

Систем висина за потребе реализације канализационе мреже треба да се прилагоди пројекту што значи да је неопходно дефинисати јединствен локални висински (инжењерски) систем за сваку канализациону мрежу посебно. Јединственост висинског система значи да он мора да задовољи услов конзистентности односно да висинске разлике између тачака (репера) морају бити једнаке висинским разликама између тих тачака. Повезивање нове канализационе мреже на већ постојећу канализациону мрежу подразумева усвајање висинског система постојеће канализационе мреже.

Висински систем нове канализационе мреже мора се успоставити на систем висина прикључних тачака. То значи да се висине прикључних тачака усвајају као дате, али се и њихове висине морају проверити геодетским мерењем. Уколико се установи да постоје одступања висинских разлика између прикључних тачака у односу на пројектоване висине, онда се морају извршити додатна мерења и додатне анализе пре усвајања висинског система канализационе мреже. Одступања између мерених и пројектованих вредности могу настати из различитих разлога укључујући и потенцијално слегање/издизање прикључних тачака током употребе постојеће канализационе мреже.

Сложеност канализационих система при њиховом пројектовању и извођењу потиче од конфигурације терена и дефинисаног распона нагиба (падова). Генерално прихваћени нагиби канализационих цеви дати су у табели 1 [3].

Табела 1. Генерално прихваћени падови
Table 1. Generally Accepted Slopes

Номинални пречник [mm]	Минимални пад [%]	Максимални пад [%]
100	2.0	12.0
150	1.0	10.0
200	0.50	10.0
250	0.35	6.0
300	0.25	4.0
375	0.20	3.0
450	0.20	2.2

Иако постоје и друге вредности за нагибе [4] за потребе овог истраживања могу се користити и падови дати у табели 1, док се за сваки конкретан случај морају користити вредности дате у пројекту.

4. Резултати и дискусија о тачности висинских разлика код канализационих мрежа

Извођење канализационих мрежа у погледу геометрије (висина и нагиба) своди се на обезбеђивање пројектованих вредности геометрије. То значи да је неопходно обезбедити да резултати мерења не буду изван пројектованих вредности и задатих толеранција. Пројектанти канализационих мрежа морају узимати у обзир и тачност резултата геодетских мерења при пројектовању нових канализационих мрежа као и других ограничења (правилно успостављање висинске основе).

Добра основа за узимање у обзир тачности геодетских мерења при пројектовању канализационих мрежа је модел описан формулом (2). Овај модел дефинише границе у којима се могу налазити резултати геодетских мерења да би нагиб и висина канализационих цеви били усклађени са пројектом канализационе мреже. Табела 2 приказује потенцијалне распоне резултата мерења за висинску разлику између две тачке од 1.000 mm, за различиту тачност мерења и различите вероватноће.

Табела 2. Распони висинске за разлике за различите тачности геодетских мерења
Table 2. Spans for different standards of geodetic measurements

σ_x [mm]	p = 95%		p = 99.9%	
	a	b	a	b
0.3	999.41	1000.59	999.07	1000.93
30	941.20	1058.80	907.30	1092.70
100	804.00	1196.00	691.00	1309.00

Значење података у табели број 2 је следеће:

- При тачности резултата геодетских мерења од 0.3 mm пројектована висинска разлика од 1000 mm налазиће се у распону (999.41 mm, 1000.59 mm) са вероватноћом од 95% а у распону (999.07 mm, 1000.93 mm) са вероватноћом 99.9%;
- При тачности резултата геодетских мерења од 30 mm пројектована висинска разлика од 1.000 mm налазиће се у распону (941.20 mm, 1058.80 mm) са вероватноћом од 95% а у распону (907.30 mm, 1092.70 mm) са вероватноћом 99.9% и
- При тачности резултата геодетских мерења од 100 mm пројектована висинска разлика од 1.000 mm налазиће се у распону (804.00 mm, 1196.00 mm) са вероватноћом од 95% а у распону (691.00 mm, 1309.00 mm) са вероватноћом 99.9%.

На основу различитих тачности и жељених вероватноћа може се извршити избор геодетског прибора и методе мерења која је адекватна за пројектовану канализациону мрежу.

Други метод би се могао развити на основу модела датог формулом (1). Ако је задата толеранција висинске разлике онда је могуће одредити тачност мерења односно методу и прибор за мерења у висинском систему канализационе мреже. Табела 3 приказује однос толеранције и потребне тачности геодетских мерења.

Табела 3. Толеранције и тачност мерења

Table 3. Tolerance and measurement accuracy

σ_x [mm]	$T = \frac{\sigma_x}{0.2}$ [mm]	$T = \frac{\sigma_x}{0.1}$ [mm]
0.3	1.50	3.00
30	150.00	300.00
100	500.00	1000.00

Смисао података у табели 3 је следећи:

- Ако је толеранција (Т) са којом треба извести висинску разлику канализационих цеви у распону (1.50 mm, 3.00 mm) онда тачност одређивања висинске мора да износи $\sigma_x=0.3$ mm;
- Ако је толеранција (Т) са којом треба извести висинску разлику канализационих цеви у распону (150.00 mm, 300.00 mm) онда тачност одређивања висинске мора да износи $\sigma_x=30$ mm и
- Ако је толеранција (Т) са којом треба извести висинску разлику канализационих цеви у распону (500.00 mm, 1000.00 mm) онда тачност одређивања висинске мора да износи $\sigma_x=100$ mm.

На основу приказаних модела може се закључити да се тачност геодетских мерења при одређивању висинске основе мора бирати изузетно пажљиво јер некритичка примена савремених геодетских технологија може да доведе до значајних одступања изведеног стања канализационе мреже у односу на пројектовано стање а у неким случајевима и до угрожавања њеног ефикасног функционисања. У зависности од минималних и максималних падова као и од конкретних пројектних решења, у случају неадекватног избора захтеване тачности може доћи и до нарушавања генерално усвојених падова (табела 2).

5. Закључак

У раду се на теоријском нивоу разматра однос толеранције и тачности за случај канализационих мрежа и указује на значај правилног избора потребне тачности геодетских мерења при реализацији канализационих мрежа. Указује се на потребу правилног успостављања висинског система новопроектване канализационе мреже и њеног правилног повезивања на постојеће канализационе мреже. Правилан избор тачности и уважавање могућих промена висина датих прикључних тачака треба да смањи ризике од грешака у извођењу канализационе мреже и повећа ефикасност њеног функционисања. Имајући у виду доступност и ефикасност савремених геодетских инструмената строга је препорука да се користе геодетске методе мерења највише тачности за одређивање висина односно геометријског нивелмана. Успостављање одговарајуће висинске нивелманске мреже обезбеђује тачност нагиба и висина реда величине 1 mm што гарантује постизање сагласности пројектоване и изведене канализационе мреже са минималним толеранцијама и високом вероватноћом.

6. Захвалница

Спроведено истраживање и рад су настали у оквиру редовних активности аутора у оквиру ЕПС АД Београд, Огранак Ђердап Кладово.

7. Литература

- [1] Перовић Г, *Рачун изравнања – теорија грешака мерења*, Грађевински факултет Универзитета у Београду, 1989.
- [2] Klein K. H. & Heunecke O. Aims and Activites in German Standardization Respective Engineering Surveys. In *Quo Vadis–International Conference*, FIG Working Week, 2000.
- [3] Chromeextension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/https://southgatedistricts.org/DocumentCenter/View/119/Sanitary-Sewer-Design-Criteria?bidId= (приступљено: 15.08.2024)
- [4] Chromeextension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/https://pdhonline.com/courses/c606/c606content.pdf (приступљено: 15.08.2024)

ПОТЕНЦИЈАЛ ПРИМЕНЕ ПРОЦЕСА ФОТОКАТАЛИЗЕ У ТРЕТМАНУ ИНДУСТРИЈСКИХ ОТПАДНИХ ВОДА

POTENTIAL APPLICATION OF THE PHOTOCATALYSIS PROCESS IN THE TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTEWATER

АЛЕКСАНДАР ЈОВАНОВИЋ¹

МЛАДЕН БУГАРЧИЋ²

МИЛИЦА МИШИЋ³

ДИМИТРИЈЕ АНЂИЋ⁴

МИРОСЛАВ СОКИЋ⁵

ВЛАДИМИР ПАВИЋЕВИЋ⁶

Прегледни научни рад

DOI: 10.5937/VIK24411J

Резиме: Загађење животне средине, пре свега водотокова, представља велики проблем модерног друштва. Повећане концентрације загађујућих материја органског порекла довеле су до тога да стандардне технике пречишћавања вода не могу да одговоре законским захтевима квалитета вода. У циљу смањења еколошког притиска на екосистем,

¹ Александар Јовановић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Булевар Франше де Епереа 86, Београд, a.jovanovic@itnms.ac.rs, ORCID: 0000-0001-9867-9282

² Младен Бугарчић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Булевар Франше де Епереа 86, Београд, m.bugarcic@itnms.ac.rs, ORCID: 0000-0002-6119-4414

³ Милица Мишић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Булевар Франше де Епереа 86, Београд, m.misic@itnms.ac.rs, ORCID: 0009-0001-8274-3136

⁴ Димитрије Анђић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Булевар Франше де Епереа 86, Београд, d.andjic@itnms.ac.rs, ORCID: 0009-0001-6824-5202

⁵ Мирослав Сокић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Булевар Франше де Епереа 86, Београд, m.sokic@itnms.ac.rs, ORCID: 0000-0002-4468-9503

⁶ Владимир Павићевић, Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет, Карнегијева 4, Београд, vpravicevic@tmf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0003-2180-0085

и због често токсичних карактеристика органског загађења, потребно је оксидисати присутно загађење и превести га у неопасан облик. Процеси који имају све већу примену јесу напредни оксидациони процеси, међу којима се издваја фотокатализа. Употребом фотокатализе, могуће је превести сву органску материју до угљеник(IV)-оксида и воде. Оптимизацијом процесних параметара могуће је додатно унапредити систем и повећати му ефикасност у постројењима за третман индустријских отпадних вода.

Кључне речи: фотодеградација, органске загађујуће материје, отпадне воде, заштита животне средине

Abstract: Pollution of water bodies is a significant issue in modern society, with increased concentrations of organic pollutants rendering standard water treatment techniques insufficient to meet legal water quality standards. To reduce ecological pressure and mitigate the toxicity of these pollutants, it is necessary to oxidize and transform them into non-hazardous forms. Advanced oxidation processes, particularly photocatalysis, have gained prominence for this purpose. Photocatalysis enables the complete conversion of organic matter into carbon dioxide and water. Optimizing process parameters can further enhance the efficiency of photocatalysis in industrial wastewater treatment plants.

Key Words: photodegradation, organic pollutants, wastewaters, environmental protection

1. Уводна разматрања

Присуство различитих загађујућих материја у животној средини последица је све веће активности индустрије и пољопривреде. Нове класе органских једињења, нови производи и технологије неминовно су довели до увећане забринутости њиховог утицаја по живи свет, те је неопходно пратити њихове физичкохемијске карактеристике и понашање у животној средини. Пестициди, ђубрива, боје, фармацеутици само су неки од перзистентних органских загађујућих материја које се често могу детектовати у различитим сферама животне средине, па тако и у отпадним водама [1].

Третман насталих отпадних вода неопходно је извршити на ефикасан начин. Тренутно коришћене, конвенционалне, технике често не могу да на задовољавајући уклоне присутно загађење [2]. Различите индустрије генеришу различите токове отпадних материја које често заврше у отпадним/процедним водама. Пораст производње и броја становника условио је и већу потрошњу природне воде, коју је даље поново потребно процесирати и квалитативно довести у законске оквири. Фотокатализа се издваја као једна од најуспешнијих техника, и припада групи напредних оксидационих процеса. Предности њене примене огледају се у: могућности рада на атмосферским условима (температура, притисак, влажност ваздуха), не настајању често токсичног талога који треба поново процесирати и немању потребе за додатним хемијским агенсима приликом процеса пречишћавање воде [3].

Различити материјали су нашли примену у овој области инжењерства заштите животне средине [4]. Посебно се издвајају фотокатализатори на бази титан(IV)-оксида, као и његови структурни композити. Различитим хемијским методама могуће је модификовати површину ових материјала унапредујући већ добре перформансе као што су хемијска и механичка постојаност, нетоксичност, доступност, могућност примене различитих извора за активацију површине и генерисања парова електрон/шупљина (e^-/h^+) [3].

Овај рад има за циљ да прикаже основе технологије пречишћавања индустријских отпадних вода применом фотокаталитичких система. Биће дат приказ основних процесних параметара који утичу на ефикасност процеса. Овај прегледни рад треба да додатно допринесе постојећим прегледним радовима анализом примена процеса фотокатализе за уклањање различитих полутаната из отпадних вода коришћењем фотокатализатора на бази титан(IV)-оксида.

2. Процес фотокатализе и процесни параметри

2.1. Принцип процеса фотокатализе

Механизам процеса фотокатализе је детаљно описан у неколико радова [5-9]. Укратко, приликом озрачивања површине фотокатализатора, долази до побуђивања електрона (e^-) у валенцијском слоју и њиховог преласка у проводни слој електронског омотача. На упражњеном месту, долази до генерисања позитивне шупљине (h^+). Настали парови учествују у комплексним реакцијама оксидације и редукције присутних органских молекула у узорцима вода (слика 1).



Слика 1. Шематски дијаграм фотокатализе [10]
Figure 1. Schematic diagram of photocatalysis [10]

Кинетика процеса фотокатализе прати једначину псеудо првог реда:

$$\ln (C_0/C_t) = - k \cdot t \quad (1)$$

где су C_0 и C_t концентрације посматраног полутанта на почетку и у одређеном тренутку посматране реакције, k је константа брзине.

У наставку рада ће бити наведени главни параметри фотокаталитичког процеса.

2.2. Количина фотокатализатора, рН вредност, температура

Неколико фактора, као што су доза катализатора, почетна концентрација загађујуће материје, рН и температура утичу на ефикасност фотокаталитичке деградације. Када се посматра параметар - доза катализатора, треба имати на уму да је ово можда и најбитни фактор који утиче на ефикасност процеса. Наиме, при увећаним концентрацијама фотокатализатора може доћи до агломерације честица и каснијег таложења истих или до расипања улазног зрачења емитујућег извора, док са друге стране, при ниским концентрацијама коришћеног фотокатализатора не долази до формирања довољног броја активних центара на површини материјала [11]. Оба ова феномена воде ка ниској ефикасности процеса, те је детаљним експерименталним радом потребно дефинисати оптималну концентрацију.

Вредност рН раствора фотокаталитичког система такође битно утиче на процес разградње. рН раствора утиче на адсорпцију полутанта, оксидациони потенцијал, могућу агломерацију фотокатализатора, степен јонизације и структуру полутанта [12, 13]. Вредност рН на којој нема присутног површинског наелектрисања, односно површина је потпуно неутралисана, назива се тачка нултог наелектрисања (рН_{рзс}). Ако је рН раствора у коме је катализатор диспергован већи од рН_{рзс}, површина ће бити негативно наелектрисана. Слично, ако је рН раствора мањи од рН_{рзс}, површина ће бити позитивно наелектрисана [11]. У зависност од наелектрисања присутног молекула, треба подесити вредност рН раствора. Зарад постизања економских уштеда, фотокаталитичке реакције се обично одвијају на собној температури. На температурама испод 0°C долази до пораста активационе енергије услед смањења брзине десорпције. Са друге стране, ако температура порасте преко 80°C, адсорпција реактанта постаје ограничавајући фактор [13]. Поред поменутих параметара, структурне карактеристике фотокатализатора (специфична површина, распоред пора, величина честица) утичу на укупну ефикасност процеса, те је потребно пажљиво синтетисати фотокатализаторе.

Литературним прегледом је утврђено да је процес фотокатализе нашао примену у деградацији боја, полицикличких ароматичних угљоводоника, различитих фенолних деривата, антибиотика, пестицида па чак и тешких метала

(њиховим превођењем у оксидационо стање које је мање или готово нетоксично).

Табела 1. Уклањање неких пестицида пронађених у отпадним водама процесом фотокатализе

Table 1. Removal of some pesticides found in wastewater by the process of photocatalysis

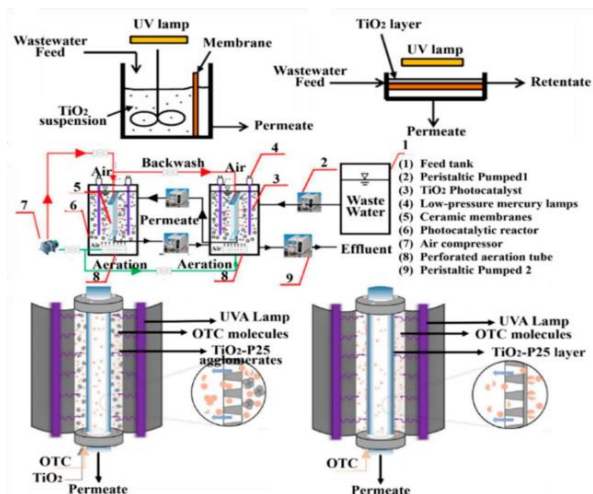
Фотокатализатор	Пестицид	Време	Ефикасност	Референца
TiO ₂ P25	карбофуран	7 h	100%	[14]
Ag/LaTiO ₃	атразин	0,67 h	100%	[14]
Ag/Ag ₂ O/TiO ₂	имазапир	3 h	100%	[14]
Ce-TiO ₂ /RGO	имидаклоприд	8 h	85%	[15]
Ce-TiO ₂ /RGO	квинапос	8 h	92%	[15]
TiO ₂ P25	тиаклоприд	0,4 h	81%	[16]
Ag-P25	тиофанат-метил	2 h	100%	[17]
Ce-P25	тиофанат-метил	2 h	100%	[17]
FeVO ₄ /r-TiO ₂	тиофанат-метил	3 h	100%	[18]
Fe _{1-x} V _x OOH/r-TiO ₂	тиофанат-метил	2,5 h	100%	[18]

Приказани резултати у табели 1 показују различите ефикасности синтетичких фотокатализатора према пестицидима. Јасно се види да дужина трајања процеса још један од кључних параметара фотокатализе.

3. Фотокаталитички системи

Избор одговарајућег реакторског система може значајно убрзати пречишћавање отпадних вода, што води значајној уштедети енергије. Тренутни проблеми који ограничавају ширу примену фотокаталитичких процеса јесу: честа немогућност увећања размера процеса са експерименталног на ниво индустрије, неодговарајући дизајн реактора, начина наношења/примене фотоактивних материјала, итд. Фотокаталитички реактор користи индуковано зрачење као извор енергије за реакције, тако да треба узети у обзир интензитет и спектар зрачења коришћеног извора светлости, као и ефикасност преноса масе и зрачења по запремини реактора.

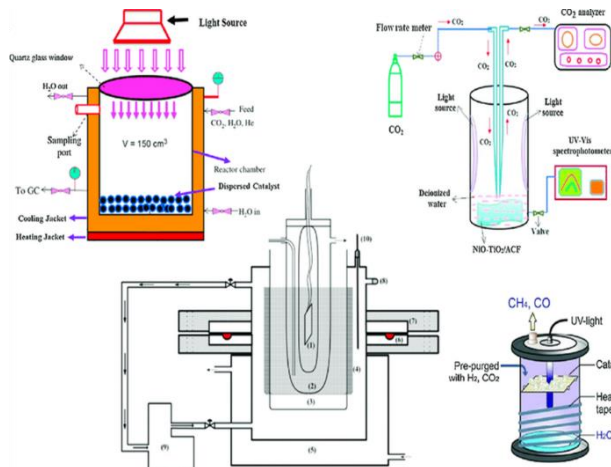
Фотокаталитички реактори се, према начину примене фотокатализатора, могу поделити на реакторе са флуидизованим слојем и реакторе са фиксним/пакованим слојем. Значај реактора са флуидизованим слојем се огледа у великој површини, високом коефицијенту преноса масе и константи брзине реакције. Поред тога, оно што се може приметити као недостатак јесте могућа агломерација честица фотокатализатора, што може довести до запушења и пада притиска у систему [19].



Слика 2. Шематски приказ реактора са флуидизованим слојем фотокатализатора [20-22]

Figure 2. Photocatalytic reactors with fluidized bed [20-22]

Иако реактор са фиксним/пакованим слојем има мању „реактивну” површину од реактора са флуидизованим слојем, предност ових система се огледа у лакој раздвајању фаза фотокатализатора и флуида, стога има велику перспективу за индустријску примену. Тренутно, избор носача фотокатализатора и технологије фиксирања су главне препреке примене ових система [23].



Слика 3. Шематски приказ реактора са фиксним слојем фотокатализатора [24-27]

Figure 3. Photocatalytic reactors with fixed bed [24-27]

4. Закључак и будућа разматрања

Истраживања о новим технологијама за третман отпадних вода су напредовала током протекле деценије захваљујући растућој свести о могућој дева-стацији животне средине. Примена унапређених оксидационих процеса нашла је своју примену у уклањању различитих загађујућих материја из вода. Посебно место је пронашла фотокатализа.

Предности фотокатализе у односу на неке друге процесе огледају се у: брзим реакцијама оксидоредукције, могућности извођења процеса на атмо-сферским условима, одсуству додатих хемијских агенаса.

Развој инжењерства материјала и заштите животне средине допринели су великом напретку у погледу синтезе и карактеризације фотокатализатора, који са новим технолошким концептима треба да даље унапреде квалитет индустријских отпадних вода пре испуштања у реципијент.

Мултидисциплинарна природа фотокатализе захтева напоре из разли-читих инжењерских грана, укључујући и фундаменталне науке.

Овај прегледни рад треба да подстакне даљу и подробнију дискусију стручњака са циљем убрзане и увећане примене фотокатализе у индустријских постројењима за третман отпадних вода.

Оно на чему треба даље радити у овој области се може груписати у неколико праваца:

(1) развој и синтеза нових фотокатализатора са повећаном ефикасношћу, селективношћу и могућношћу регенерације, применом нових, еколошки прих-ватљивијих експерименталних поступака;

(2) употреба Сунчеве енергије као извора зрачења са циљем економске оправданости примене фотокатализе;

(3) побољшање фотокаталитичких реакција коришћењем различитих ти-пова органских и неорганских материјала зарад повећане апсорпције зрачења, раздвајања наелектрисања (e^-/h^+) и убрзаних површинских реакција;

(4) боље разумевање реакција на површини коришћених фотокатализатора зарад боље оптимизације фотокатализе.

5. Захвалница

Овај рад је подржало Министарство науке, технолошког развоја и ино-вација Републике Србије (број Уговора 451-03-66/2024-03/200023, 451-03-65/2024-03/200135).

6. Литература

- [1] Thakur A, Kumar A, Recent advances on rapid detection and remediation of environmental pollutants utilizing nanomaterials-based (bio) sensors. *Science of The Total Environment*, 834, 155219, 2022.
- [2] Tijani J. O, Fatoba O. O, Madzivire G, Petrik L. F, A review of combined advanced oxidation technologies for the removal of organic pollutants from water. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225, 1-30, 2014.
- [3] Al-Nuaim M. A, Alwasiti A. A, Shnain Z. Y, The photocatalytic process in the treatment of polluted water. *Chemical papers*, 77(2), 677-701, 2023.
- [4] Ahuja T, Brighu U, Saxena K, Recent advances in photocatalytic materials and their applications for treatment of wastewater: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 53, 103759, 2023.
- [5] Schneider J, Matsuoka M, Takeuchi M, Zhang J, Horiuchi Y, Anpo M, Bahnemann D. W, Understanding TiO₂ photocatalysis: mechanisms and materials. *Chemical reviews*, 114(19), 9919-9986, 2014.
- [6] Ajmal A, Majeed I, Malik R. N, Idriss H, Nadeem M. A, Principles and mechanisms of photocatalytic dye degradation on TiO₂ based photocatalysts: a comparative overview. *RSC Adv* 4: 37003–37026, 2014.
- [7] Regmi C, Joshi B, Ray S. K, Gyawali G, Pandey R. P, Understanding mechanism of photocatalytic microbial decontamination of environmental wastewater. *Frontiers in chemistry*, 6, 33, 2018.
- [8] Cruz-Ortiz B. R, Hamilton J. W, Pablos C, Díaz-Jiménez L, Cortés-Hernández D. A, Sharma P. K. ... & Byrne J. A, Mechanism of photocatalytic disinfection using titania-graphene composites under UV and visible irradiation. *Chemical Engineering Journal*, 316, 179-186, 2017.
- [9] Zhu D, Zhou Q, Action and mechanism of semiconductor photocatalysis on degradation of organic pollutants in water treatment: A review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 12, 100255, 2019.
- [10] Djurišić A. B, Leung Y. H, Ng A. M. C, Strategies for improving the efficiency of semiconductor metal oxide photocatalysis. *Materials Horizons*, 1(4), 400-410, 2014.
- [11] Souza R. P, Freitas T. K, Domingues F. S, Pezoti O, Ambrosio E, Ferrari-Lima A. M, Garcia J. C, Photocatalytic activity of TiO₂, ZnO and Nb₂O₅ applied to degradation of textile wastewater. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 329, 9-17, 2016.
- [12] Jorfi S, Barzegar G, Ahmadi M, Soltani R. D. C, Takdastan A, Saeedi R, Abtahi M.: Enhanced coagulation-photocatalytic treatment of Acid red 73 dye and real textile wastewater using UVA/synthesized MgO nanoparticles. *Journal of environmental management*, 177, 111-118, 2016.

- [13] Barzagan A, *Photocatalytic water and wastewater treatment*. IWA Publishing, 2022.
- [14] Mishra S, Sundaram B, A review of the photocatalysis process used for wastewater treatment. *Materials Today: Proceedings*, 2023.
- [15] Behera L, Barik B, Mohapatra S, Improved photodegradation and antimicrobial activity of hydrothermally synthesized 0.2 Ce-TiO₂/RGO under visible light. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 620, 126553, 2021.
- [16] Banić N, Abramović B, Krstić J, Šojić D, Lončarević D, Cherkezova-Zheleva Z, Guzsvány V, Photodegradation of thiacloprid using Fe/TiO₂ as a heterogeneous photo-Fenton catalyst. *Applied Catalysis B: Environmental*, 107(3-4), 363-371, 2011.
- [17] Jovanović A, Stevanović M, Barudžija T, Cvijetić I, Lazarević S, Tomašević A, Marinković A, Advanced technology for photocatalytic degradation of thiophanate-methyl: Degradation pathways, DFT calculations and embryotoxic potential. *Process Safety and Environmental Protection*, 178, 423-443, 2023.
- [18] Jovanović A, Bugarčić M, Sokić M, Barudžija T, Pavićević V, Marinković A, Photodegradation of thiophanate-methyl under simulated sunlight by utilization of novel composite photocatalysts. *Chemical Industry*, 2024.
- [19] Bello M. M, Raman A. A. A, Purushothaman M, Applications of fluidized bed reactors in wastewater treatment—a review of the major design and operational parameters. *Journal of Cleaner Production*, 141, 1492-1514, 2017.
- [20] Espíndola J. C, Cristóvão R. O, Mendes A, Boaventura R. A, Vilar V. J, Photocatalytic membrane reactor performance towards oxytetracycline removal from synthetic and real matrices: Suspended vs immobilized TiO₂-P25. *Chemical Engineering Journal*, 378, 122114, 2019.
- [21] Leong S, Razmjou A, Wang K, Hapgood K, Zhang X, Wang H, TiO₂ based photocatalytic membranes: A review. *Journal of Membrane Science*, 472, 167-184, 2014.
- [22] Li Q, Jia R, Shao J, He Y, Photocatalytic degradation of amoxicillin via TiO₂ nanoparticle coupling with a novel submerged porous ceramic membrane reactor. *Journal of cleaner production*, 209, 755-761, 2019.
- [23] Phan D. D, Babick F, Nguyen M. T, Wessely B, Stintz M, Modelling the influence of mass transfer on fixed-bed photocatalytic membrane reactors. *Chemical Engineering Science*, 173, 242-252, 2017.
- [24] Sharma A, Lee B. K, Photocatalytic reduction of carbon dioxide to methanol using nickel-loaded TiO₂ supported on activated carbon fiber. *Catalysis Today*, 298, 158-167, 2017.

- [25] Beigi A. A, Fatemi S, Salehi Z, Synthesis of nanocomposite CdS/TiO₂ and investigation of its photocatalytic activity for CO₂ reduction to CO and CH₄ under visible light irradiation. *Journal of CO₂ Utilization*, 7, 23-29, 2014.
- [26] Chen B. R, Nguyen V. H, Wu J. C, Martin R, Kočí K, Production of renewable fuels by the photohydrogenation of CO₂: effect of the Cu species loaded onto TiO₂ photocatalysts. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 18(6), 4942-4951, 2016.
- [27] Tahir M, Amin N. S, Photocatalytic CO₂ reduction with H₂O vapors using montmorillonite/TiO₂ supported microchannel monolith photoreactor. *Chemical engineering journal*, 230, 314-327, 2013.

**ИСПИТИВАЊЕ БИОСОРПЦИОНОГ КАПАЦИТЕТА
РАЗЛИЧИТИХ БИОЛОШКИХ МАТЕРИЈАЛА УЗОРКОВАНИХ
НА ТЕРИТОРИЈИ СРБИЈЕ ЗА УКЛАЊАЊЕ ЈОНА Cu^{2+} И Co^{2+}
ИЗ ВОДЕНИХ РАСТВОРА**

**EXAMINATION OF THE BIOSORPTION CAPACITY OF
VARIOUS BIOLOGICAL MATERIALS COLLECTED ON THE
TERRITORY OF SERBIA FOR THE REMOVAL OF Cu^{2+} AND
 Co^{2+} IONS FROM AQUEOUS SOLUTIONS**

ДУШАН МИЛОЈКОВ¹

ВУКОСАВА ЖИВКОВИЋ-РАДОВАНОВИЋ²

МИРОСЛАВ СОКИЋ³ БИЉАНА ДОЈЧИНОВИЋ⁴

АНА МРАКОВИЋ⁵ МАРИЈА КОПРИВИЦА⁶ МАРИЈА СИМИЋ⁷

Оригинални научни рад

DOI: 10.5937/VIK24421M

Резиме: Тешки метали представљају значајне контаминанте отпадних вода због своје небiorазградиве природе и трајне способности да се акумулирају у екосистемима. Технологије биоадсорпције, које користе биолошке материјале као што су микроорганизми, делови биљака и природни полимери, представљају ефикасне методе за

¹ Душан Милојков, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Булевар Франше де Епереа 86, Београд, d.milojkov@itnms.ac.rs, ORCID: 0000-0003-0746-4185

² Вукосава Живковић-Радовановић, Универзитет у Београду, Хемијски факултет, Студентски трг 16, Београд, vuka@chem.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0003-2558-4957

³ Мирослав Сокић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Булевар Франш д'Епереа 86, Београд, m.sokic@itnms.ac.rs, ORCID: 0000-0002-4468-9503

⁴ Биљана Дојчиновић, Универзитет у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију, Његошева 12, Београд, bmatic@chem.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0003-1479-8060

⁵ Ана Марковић, Универзитет у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Мике Петровића Аласа 12-14, Београд, amrakovic@vin.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0003-4569-5857

⁶ Марија Копривица, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Булевар Франше де Епереа 86, Београд, m.koprivica@itnms.ac.rs, ORCID: 0000-0002-1451-5959

⁷ Марија Симић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Булевар Франше де Епереа 86, Београд, m.petrovic@itnms.ac.rs, ORCID: 0000-0003-1717-7796

уклањање тешких метала из водених раствора. Ова студија истражује потенцијал различитих природних биоматеријала, пореклом из Србије, пиљевину, вуну и храстову галу за биосорпцију Cu^{2+} и Co^{2+} јона из водених раствора. Резултати показују да сви испитани материјали имају потенцијал за ремедијацију Cu^{2+} и Co^{2+} јона, при чему храстова гала демонстрира највећи капацитет биосорпције међу анализираним узорцима.

Кључне речи: биосорпција, биолошки материјали, отпадне воде, тешки метали

Abstract: Heavy metals are persistent contaminants in wastewater due to their non-biodegradable nature and their ability to accumulate in ecosystems. Biosorption technologies, which utilize biological materials such as microorganisms, plant parts, and natural polymers, have emerged as effective methods for removing heavy metals from aqueous solutions. This study evaluates the biosorption potential of various natural biomaterials originating from Serbia—specifically sawdust, wool, and oak galls—for the removal of Cu^{2+} and Co^{2+} ions from water. The examined biomaterials exhibit potential for the remediation of Cu^{2+} and Co^{2+} ions, with oak galls demonstrating the highest biosorption capacity among the tested materials.

Key Words: biosorption, biological materials, wastewater, heavy metals

1. Увод

У савременом индустријском свету, загађење вода тешким металима представља озбиљан еколошки проблем са широким последицама на животну средину и људско здравље. Тешки метали, као што су јони бакра (Cu^{2+}) и кобалта (Co^{2+}), често се налазе у отпадним водама које потичу из различитих индустријских процеса, укључујући електрохемијску, металуршку и текстилну индустрију. Ови метали, иако имају значајне технолошке и индустријске примене, могу узроковати озбиљна еколошка и здравствена оштећења када се налазе у водама у вишим концентрацијама. Јони бакра, иако су мање токсични у поређењу са неким другим тешким металима, могу изазвати разне здравствене проблеме, укључујући гастроинтестиналне поремећаје, оштећење јетре и проблеме са бубрезима при високим концентрацијама [1]. Због тога је важно контролисати ниво ових метала у отпадним водама како би се очувала људска и еколошка сигурност.

Кобалт, с друге стране, представља додатни изазов због своје потенцијалне радиоактивности. У природним условима, кобалт се може наћи у форми изотопа који су радиоактивни, као што је кобалт-60. Кобалт-60 је познат по својој употреби у медицинској радиотерапији и индустријским стерилизацијама, али због своје радиоактивности може представљати значајан ризик за људско здравље и животну средину. Радиоактивни изотопи кобалта могу узроковати озбиљне здравствене проблеме, укључујући повећан ризик од рака, генетска оштећења и друге облике биолошког стреса [2, 3]. С обзиром на ове

ризике, ефикасно уклањање јона кобалта из отпадних вода је од кључне важности за очување еколошке равнотеже и заштиту људског здравља. За решавање проблема загађења водом тешким металима, развијене су различите технологије за ремедијацију, од којих се биосорпција показала као обећавајућа метода. Биосорпција користи природне материјале као што су биљни отпад, микроорганизми и животињски материјали за уклањање јона метала из водених раствора. Ова метода нуди бројне предности, укључујући високу ефикасност у уклањању јона метала, ниске трошкове и еколошку прихватљивост. Такође, биосорпција омогућава употребу материјала који су широко доступни и често су нуспроизводи различитих индустрија, што додатно доприноси њеној економској исплативости и одрживости [4, 5].

У овом раду испитујемо употребу природних биосорбената из Србије за уклањање јона бабра (Cu^{2+}) и кобалта (Co^{2+}) из водених раствора. Специфични материјали који ће бити истражени укључују пиљевину, вуну и храстову галу. Пиљевина и вуна су отпадни производи из дрвне и текстилне индустрије који су често доступни и лако обрадиви, док су храстове гале биљног порекла присутне су у природним окружењима и лако доступне. Истраживање ће се фокусирати на ефикасност ових материјала у уклањању јона метала, анализирајући како њихова хемијска и физичка својства утичу на биосорпцију. Такође, биће истражене могућности за побољшање технологија за третман отпадних вода, пружајући препоруке за примену ових материјала у стварним поступцима како би се унапредила ефикасност и одрживост процеса ремедијације.

2. Материјали и методе

2.1. Узорковање и карактеризација биосорбената

Како смо желели да упоредимо сорпционе особине природних биоматеријала, одабрали смо пиљевину, вуну и храстову галу, и осушили их на ваздуху. Карактеризација биоматеријала је извршена помоћу оптичке микроскопије, којом је испитана морфологија, и FTIR спектроскопије, којом су идентификоване функционалне групе.

2.2. Адсорпција

Припремљено је по 1 L раствора концентрације 15 mM бакар-ацетата и 15mM кобалт-ацетата, као и 1 L *mix-rastvora* који садржи 15 mM бакар-ацетата и 15 mM кобалт-ацетата. Ти раствори су разблажени 5 пута по 20,0 mL у нормалним судовима од 100,0 mL, да бисмо касније ICP методом одредили њихове тачне концентрације. Пиљевина, гала и вуна су одмерени у количини од по 1g и пренети у ерленмајере. На њих је додато по 100 mL раствора метала. Ерленмајери су затворени парафилмом и остављени 24 h. Након тог времена одекантовали смо растворе и аликвоте од по 10,0 mL прокували са по 6,0 mL

конц. азотне киселине и 3,0 mL 30% водоник пероксида (да бисмо разорили органску материју) и разблажили до 50,0 mL у нормалним судовима.

2.3. Десорпција

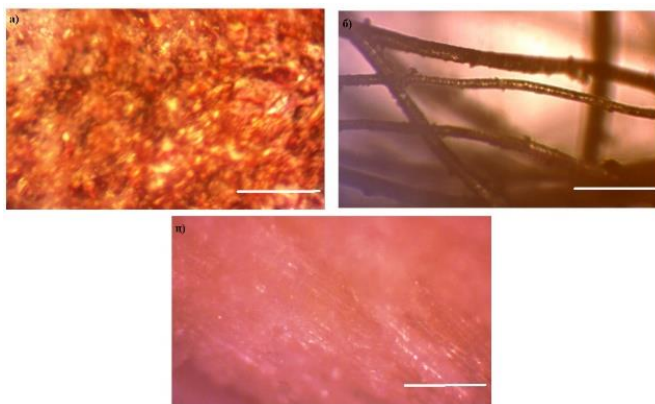
Биосорбенте (који су се видно обојили сорбованим јонима) смо испрали неколико пута дејонизованом водом и потопили у по 50 mL 0,5M раствора HCl. Након 24 h растворе смо одекантовали и разблажили дејонизованом водом 5 пута (аликвоте од 10,0 mL у нормалним судовима од 50,0 mL).

2.4. Одређивање садржаја Cu^{2+} и Co^{2+} у добијеним растворима

Садржај метала одредили смо ICP-методом на апарату: ICP iCap 6500 Duo (Thermo Scientific, England). Раствори мултистандарда за калибрационе криве имали су следеће концентрације: 1; 10, 100 и 200 ppm.

3. Резултати и дискусија

Коришћење пиљевине, вуне и храстове гале као биосорбената за јоне тешких метала има неколико предности, а пре свега њихова расположивост и обновљивост, затим еколошка прихватљивост и ефикасност у биосорпцији. Сви наведени материјали су природни, што може смањити трошкове и еколошки утицај у поређењу са хемијским методама. Пиљевина, вуна, и храстове гале су лако доступни и обновљиви ресурси, што олакшава њихову употребу у различитим географским подручјима.



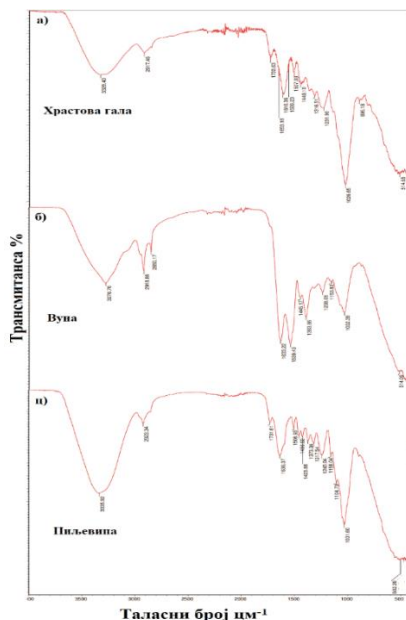
Слика 1. Микроскопско испитивање морфологије биосорбената. Храстова гала (а), вуна (б) и пиљевина (ц). Увећање 100x.

Figure 1. Microscopic investigation of biosorbent morphology. (a) oak gale, (b) wool, sawdust (c). Magnification 100x.

Ови материјали показују способност да ефикасно сорбују тешке метале из водених раствора, што је кључно за њихову примену у третману загађених

вода или земљишта. Употреба ових биосорбената може бити еколошки прихватљива алтернатива конвенционалним хемијским методама, смањујући потенцијалну штету по животну средину. На слици 1 је приказано микроскопско испитивање морфологије природних материјала као потенцијалних биосорбената.

Под светлосним микроскопом, храстове гале, формиране као одговор храста на јаја инсеката или присуство патогена, приказују сложене слојеве ткива око централне коморе са јајетом. Структура ткива варира у зависности од фазе развоја, често изгледајући густе и комплексне под микроскопским испитивањем [6]. Спољашња површина гале обично је смеђа, одражавајући њен тврди састав. Микроскопско испитивање вуне открива дугуљаста влакна која се одликују својом дужином и присуством љуски дуж површине, које постају видљиве при већем увећању [7]. Влакна имају црну или смеђу боју, и имају мекану и влакнасту текстуру. Под микроскопом пиљевина се појављује као скуп малих ћелија дрвета различитих величина и облика. Детаљним посматрањем уочавају се појединачна дрвена влакна И јасни зидови ћелија зависно од врсте дрвета [8]. Општи изглед карактерише влакнаста текстура, обично у нијансама смеђе или тан боје.



Слика 2. FTIR спектри биосорбената (а) храстова гала, (б) вуна, (ц) пиљевина

Figure 2. FTIR spectrum of biosorbents (a) oak gala, (b) wolo, (c) sawdust

FTIR спектроскопија анализира хемијски састав биосорбената на основу детекције вибрација функционалних група (слика 2). На основу FTIR спектра може се видети да су храстове гале богате танинима, фенолима, целулозом и лигнином. Хемијске групе у вуни указују на присуство протеина, липида и других органских једињења. Док је пиљевина богата целулозом, хемицелулозом и лигнином. На слици 2 су детаљно анализирани пикови на FTIR спектрима, којима су додељене вибрације на основу литературних података.

Специфични пикови у FTIR спектру храстове гале указују на присуство танина, фенола, целулозе, хемицелулозе и других органских компоненти:

- 514 cm^{-1} : C-C вибрације у ароматским једињењима, карактеристичне за танине и феноле [9].
- 896 cm^{-1} : C-H савијене вибрације у ароматским једињењима или C-O-C вибрације у хемицелулози и целулози [9].
- 1231 cm^{-1} : C-O вибрације у естерским групама, C-N у аминским групама, или C-O-C у хемицелулози [10].
- 1316 cm^{-1} : CH_2 и C-H савијене вибрације у танинима или целулози [11].
- 1448 cm^{-1} : CH_2 савијене вибрације у танинима, хемицелулози, или целулози, и могуће COO^- групе [10].
- 1507 cm^{-1} : C=C вибрације у ароматским прстеновима, типичне за фенолне једињења и танине [11].
- 1616 cm^{-1} : C=C вибрације у ароматским прстеновима, указујући на танине или фенолна једињења [9].
- 1653 cm^{-1} : C=O вибрације у естерским групама, могуће присуство киселих група или амида I у протеинским материјалима [10].
- 1733 cm^{-1} : C=O вибрације у естерским групама, указујући на естре или киселине [10].
- 2917 cm^{-1} : CH_2 асиметричне растезљиве вибрације у танинима, хемицелулози, целулози или другим органским материјама [10].
- 3329 cm^{-1} : O-H или N-H растезљиве вибрације, указујући на водоникове везе у фенолима, танинима или другим органским материјама [9].

FTIR спектар вуне открива различите пикове који одговарају специфичним вибрацијама функционалних група и хемијских структура у влакнима вуне пореклом од протеина, липида и других органских компоненти:

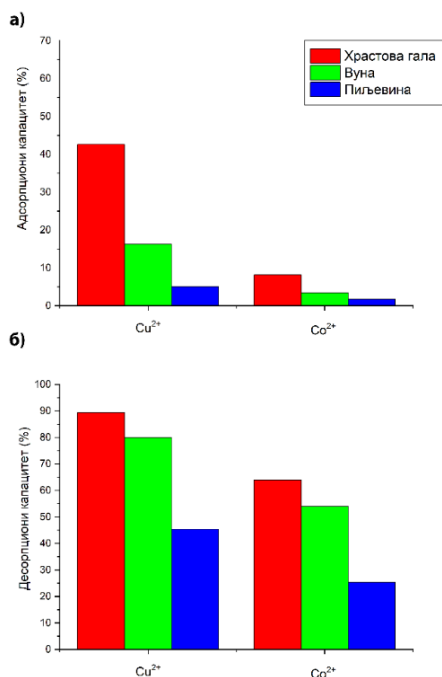
- 514 cm^{-1} : C-S вибрације у дисулфидним мостовима (S-S) у кератину, као и C-N вибрације у аминским групама [12, 13, 14].
- 1039 cm^{-1} : C-O-C вибрације у полисахаридима или C-N вибрације у аминским групама кератина, или C-O вибрације у угљенохидратима [12].

- 1153 cm^{-1} : C-O-C вибрације у хемицелулози или C-N вибрације у аминским групама [12, 13, 14].
- 1238 cm^{-1} : C-N вибрације у аминским групама, C-O вибрације у естерским групама, или амидне III вибрације у кератину [12].
- 1393 cm^{-1} : CH_3 савијене вибрације или COO^- вибрације у киселим групама у кератину [12].
- 1445 cm^{-1} : CH_2 савијене вибрације, повезане са метиленским групама у кератину [12].
- 1539 cm^{-1} : Amide II вибрације, укључујући N-H савијене вибрације и C-N вибрације у кератину [12].
- 1633 cm^{-1} : Amide I вибрације, укључујући C=O вибрације у пептидним везама у кератину, или C=C вибрације у ароматским једињењима [12].
- 2850 cm^{-1} : CH_2 асиметричне растезљиве вибрације, присутне у липидима и другим органским материјама [13].
- 2918 cm^{-1} : CH_3 асиметричне растезљиве вибрације у липидима, протеинима и другим органским молекулама [12].
- 3276 cm^{-1} : O-H и N-H растезљиве вибрације, повезане са -OH или -NH групама у кератину и другим протеиним [12].

FTIR спектар пиљевине открива пикове који одражавају присуство различитих хемијских компоненти као што су целулоза, хемицелулоза, лигнин и други органски материјали:

- 502 cm^{-1} : C-C вибрације у ароматским једињењима, као што је лигнин, и C-N савијене вибрације у целулози или хемицелулози [15].
- 1031 cm^{-1} : C-O-C вибрације у хемицелулози или целулози, или C-O вибрације у полисахаридима [15].
- 1104 cm^{-1} : C-O-C вибрације у целулози и хемицелулози, указујући на присуство ових полисахарида [15].
- 1158 cm^{-1} : C-O-C вибрације у хемицелулози и C-O вибрације у целулози, с могућим присуством C-N вибрација у аминским групама [15].
- 1234 cm^{-1} : C-O-C вибрације у хемицелулози, и C- вибрације у протеинским материјалима ако су присутни [15].
- 1317 cm^{-1} : CH_2 савијене вибрације или C-N савијене вибрације у хемицелулози или лигнину [15].
- 1373 cm^{-1} : CH_3 савијене вибрације и C-N савијене вибрације у целулози или хемицелулози, или COO^- групе у киселим компонентама [15].

- 1423 cm^{-1} : CH_2 савијене вибрације у целулози, хемицелулози или лигнину [15].
- 1456 cm^{-1} : CH_2 савијене вибрације и C-N вибрације у целулози, хемицелулози или лигнину [15].
- 1506 cm^{-1} : C=C вибрације у ароматским једињењима као што је лигнин, или C=O вибрације у киселим компонентама [15].
- 1636 cm^{-1} : C=O вибрације у естерским групама или C=C вибрације у ароматским ринговима, посебно у лигнину [15].
- 1731 cm^{-1} : C=O вибрације у естерским групама или киселим групама као што су ацетилне групе у хемицелулози [15].
- 2923 cm^{-1} : CH_2 асиметричне растезљиве вибрације, присутне у целулози, хемицелулози и другим органским материјама [15].
- 3335 cm^{-1} : O-H или N-H растезљиве вибрације, указујући на водоникове везе у хемицелулози, целулози или у неким протеинима [15].



Слика 3. Сорпциони капацитет биосорбента за Cu^{2+} и Co^{2+} јоне (а) адсорпција, (б) десорпција.
 Figure 3. Sorption capacity of biosorbents for Cu^{2+} and Co^{2+} ions. (a) adsorption, (b) desorption.

На слици 3 су приказане сорпционе особине испитиваних биосорбената. Храстова гала показује највећи адсорпциони капацитет за Cu^{2+} јоне (око 44%) и значајан капацитет за Co^{2+} јоне (око 10%). Ови резултати указују на високу ефикасност храстове гале у везивању Cu^{2+} јона у поређењу са Co^{2+} јонима. Ово може бити последица присуства танина у храстој гали, који су природна органска једињења са јаким афинитетом према јонима метала. Танини могу формирати комплексне структуре с јонима метала путем координационих веза, посебно с хидроксилним и карбоксилним групама које су присутне у њиховој структури. С обзиром на то, храстова гала се издваја због своје способности да ефикасно адсорбује Cu^{2+} јоне, док су кобалтови иони мање привучени. Вуна има мањи капацитет за адсорпцију Cu^{2+} јона (око 15%) и Co^{2+} јона (око 4%) у поређењу са храстовом галом. Ова разлика може бити објашњена присуством кератина, протеина у вуни, који може имати мањи афинитет према металним јонима у односу на танине у храстој гали. Кератин садржи функционалне групе које могу интераговати с јонима метала, али у мањој мери [16]. Површински набој вуне може бити мање ефикасан за адсорпцију.

Пиљевина показује најмањи капацитет за адсорпцију Cu^{2+} јона (око 5%) и Co^{2+} јона (око 2%). Пиљевина има велику специфичну површину, али њена мања способност за адсорпцију може бити последица мањег броја функционалних група или њихове мање афинитетности према јонима метала [17]. Присутне функционалне групе као што су хидроксилне групе могу допринети адсорпцији, али у мањој мери у поређењу са групама код танина и кератина. Храстова гала показује високи капацитет за десорпцију Cu^{2+} јона (око 90%) и значајан капацитет за десорпцију Co^{2+} јона (око 65%). Висок капацитет десорпције може бити резултат стварања комплекса и слабијих веза између јона метала и функционалних група танина [18]. Ово указује на могућност ефикасне регенерације храстове гале након адсорпције јона метала. Танини у храстој гали формирају сложене координационе комплексе с јонима метала. Ове интеракције могу бити релативно слабе и лако се могу раскинути током процеса десорпције, нарочито ако се користе одговарајући десорптори. То омогућава високу ефикасност десорпције јона метала. Танини често имају више слободних грана и активних места која олакшавају ослобађање металних јона [18].

Вуна показује средњи капацитет за десорпцију Cu^{2+} јона (око 80%) и Co^{2+} јона (око 55%). Ово сугерише да иако вуна може ефикасно адсорбовати одређене металне јоне, процес десорпције је мање ефикасан у поређењу с храстовом галом. Могуће је да су комплексне структуре у вуни мање стабилне за десорпцију у поређењу са онима у храстој гали [16]. У вуни, кератин може формирати чврсте и стабилне везе са јонима метала, делимично због своје комплексне структуре и способности да се формирају дисулфидне везе између

аминокиселина. Ове везе могу бити теже за раскидање, што отежава десорпцију јона метала. Вуна може имати слабији капацитет за десорпцију у поређењу с храстовом галом јер су јони метала чврсто везани за протеинске структуре [16]. Пиљевина има најнижи капацитет за десорпцију Cu^{2+} јона (око 45%) и Co^{2+} јона (око 25%). Ниска ефикасност десорпције може бити последица јаке интеракције између јона метала и функционалних група у пиљевини, као и мањих површинских карактеристика за ефикасну регенерацију [17].

Пиљевина може садржавати релативно мало функционалних група или имати групе које формирају стабилније комплексне везе с јонима метала. Ове стабилније интеракције могу отежати ослобађање металних јона током десорпције, иако су и капацитети за адсорпцију мањи у поређењу с другим материјалима [17].

Примена биосорпције у Србији нуди значајне предности захваљујући доступности локалних сировина попут пиљевине, вуне и храстове гале, што не само да може смањити трошкове, већ и допринети одрживом управљању ресурсима. С обзиром на специфичне карактеристике биоматеријала, додатна истраживања и технолошка унапређења могу побољшати ефикасност биосорпције и њен утицај на очување животне средине.

4. Закључак

Резултати овог истраживања указују на значајан потенцијал природних биоматеријала као што су храстова гала, вуна, и пиљевина у процесу биосорпције тешких метала из водених раствора. Посебно се издваја храстова гала, која је показала највиши капацитет биосорпције за јоне Cu^{2+} и Co^{2+} међу испитиваним материјалима.

Ови налази потврђују да су локално доступни биолошки материјали из Србије ефикасни у уклањању тешких метала из отпадних вода, пружајући еколошки прихватљиве и економски исплативе алтернативе конвенционалним хемијским методама. Имплементација ових биоматеријала у праксу може допринети одрживом управљању природним ресурсима, смањењу загађења и заштити животне средине.

Даље истраживање и оптимизација биосорпционих процеса могли би унапредити њихову примену у индустријској и еколошкој пракси.

5. Захвалница

Захваљујемо се Министарству за науку, технолошки развој и иновације Републике Србије (број уговора: 451-03-66/2024-03/200023, 451-03-66/2024-03/200168, 451-03-66/2024-03/200026).

6. Литература

- [1] Alloway B, Ayres D. C. *Chemical principles of environmental pollution*. CRC press; Feb 13, 1997.
- [2] Mason C. F. *Biology of Freshwater Pollution*. Longman, 2002.
- [3] Gautam P. K, Gautam R. K, Banerjee S, Chattopadhyaya M. C, Pandey J. D. *Heavy metals in the environment: fate, transport, toxicity and remediation technologies*. Nova Sci Publishers. 60:101-30, 2016.
- [4] Volesky B, Holan Z. R. Biosorption of heavy metals. *Biotechnology progress*. May;11(3):235-50, 1995.
- [5] Ahalya N, Ramachandra T. V, Kanamadi R. D. Biosorption of heavy metals. *Res. J. Chem. Environ*. Dec;7(4):71-79, 2003.
- [6] Banc R, Rusu M. E, Filip L, Popa D. S. Phytochemical profiling and biological activities of quercus sp. galls (Oak galls): a systematic review of studies published in the last 5 years. *Plants*. 2023 Nov 16;12(22):3873, 2023.
- [7] Heliopoulos N. S, Komporozos G. A, Papageorgiou S. K. *Quality evaluation of wool: methods of evaluation of quality of wool, parameters, and important standards*. In *The Wool Handbook 2024* Jan 1 (pp. 195-237). Woodhead Publishing, 2024.
- [8] Tardif J. C, Conciatori F. *Microscopic examination of wood: Sample preparation and techniques for light microscopy*. Plant microtechniques and protocols. 373-415, 2015.
- [9] Siesler H. W, Ozaki Y, Kawata S. & Heise H. M. (Eds.). *Near-infrared spectroscopy: principles, instruments, applications*. John Wiley & Sons, 2008.
- [10] Faix O. *Classification of lignins from different botanical origins by FT-IR spectroscopy*, 21-28, 1991.
- [11] Ricci A, Olejar K. J, Parpinello G. P, Kilmartin P. A, Versari A. Application of Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy in the characterization of tannins. *Applied Spectroscopy Reviews*. 2015 May 28;50(5):407-42, 2015.
- [12] Peets P, Kaupmees K, Vahur S. et al. Reflectance FT-IR spectroscopy as a viable option for textile fiber identification. *Herit Sci* 7, 93, 2019.
- [13] Belukhina O, Milasiene D, Ivanauskas R. Investigation of the Possibilities of Wool Fiber Surface Modification with Copper Selenide. *Materials*. 14(7):1648, 2021.
- [14] Hou X, Xu H, Shi Z, Ge M, Chen L, Cao X, Yang Y. Hydrothermal pretreatment for the preparation of wool powders. *Journal of Applied Polymer Science*, 131(8), 2014.
- [15] Cao C, Yang Z, Han L. et al. Study on in situ analysis of cellulose, hemicelluloses and lignin distribution linked to tissue structure of crop stalk internodal transverse section based on FTIR microspectroscopic imaging. *Cellulose* 22, 139–149, 7, 2015.

- [16] Shankar S, Rhim J. W. Eco-friendly antimicrobial nanoparticles of keratin-metal ion complex. *Materials Science and Engineering: C*, 105, 110068, 2019.
- [17] Mishra V, Tadepalli S. Biosorption of toxic heavy metals on sawdust. *CLEAN–Soil, Air, Water*, 43(3), 360-367, 2015.
- [18] Bacelo H. A, Santos S. C, Botelho C. M. Tannin-based biosorbents for environmental applications–A review. *Chemical Engineering Journal*, 303, 575-587, 2016.

ИНЦИДЕНТНЕ СИТУАЦИЈЕ И ЕФИКАСНОСТ ПРЕЧИШЋАВАЊА ОТПАДНИХ ВОДА НА ППОВ КРУШЕВАЦ

INCIDENT SITUATIONS AND EFFICIENCY OF WASTE WATER TREATMENT AT WASTEWATER TREATMENT PLANT IN THE CITY OF KRUŠEVAC

ДРАГАНА ГРАНДИЋ-АЛЕКСИЋ¹

Стручни рад

DOI: 10.5937/VIK24433A

Резиме: Индустрijske отпадне воде су један од највећих еколошких изазова савременог доба. Са растом и развојем индустрије широм света, повећава се и притисак на наше водне ресурсе и екосистеме. Ове воде, као нуспроизвод индустријских процеса, често садрже штетне материје попут хемикалија, тешких метала и органских супстанци, што може имати озбиљне последице по животну средину и здравље људи. Ефикасан предtretман и пречишћавање индустријских отпадних вода, пре упуштања у систем јавне канализације или у реципијенте, више није само еколошка одговорност, већ и Законска обавеза свих индустријских и јавних субјеката. Строге законске регулативе постављају јасне лимите на емисије и загађења, штитећи водне ресурсе и екосистеме. Захваљујући савременим технолошким третманима, на ППОВ-а града Крушевца, који укључује физичко-хемијско и биолошко пречишћавање отпадних вода са активним муљем, и анаеробном дигестијом, расте и ефикасност пречишћавања ефлуента а самим тим и реципијента Западне Мораве.

Кључне речи: индустријске отпадне воде, еколошка одговорност, екосистем, савремена технологија, ефикасност пречишћавања

Abstract: Industrial wastewater is one of the biggest environmental challenges of modern age. With the growth and development of industry around the world, the pressure on our water resources and ecosystems is also increasing. These waters, as a by-product of industrial processes, often contain harmful substances such as chemicals, heavy metals and organic substances, which can have serious consequences for the environment and human health. Effective pretreatment and purification of industrial wastewater, before entering the public sewage system or into recipients, is no longer only an environmental responsibility,

¹ Драгана Грандић-Алексић, ЈКП „Водовод Крушевац“, Душанова 46, Крушевац, grandicaleksicdragana@gmail.com, ORCID: 0009-0009-5342-6869

but also a legal obligation of all industrial and public entities. Strict legal regulations set clear limits on emissions and pollution, protecting water resources and ecosystems. Thanks to modern technological treatments, the efficiency of the WWTP of the town of Kruševac, which includes physical, chemical and biological purification of waste water with activated sludge and anaerobic digestion, is increasing. purification of effluents and thus the recipient of Zapadna Morava river.

Key Word: industrial wastewater, environmental responsibility, ecosystem, modern technology, purification efficiency

1. Увод

У оквиру отвореног програма Немачке финансијске сарадње са Републиком Србијом, KfW Развојна банка је реализовала циљ Пројекта прикупљања, одвођења и пречишћавања отпадних вода града Крушевца, по социјално прихватљивим тарифама које покривају трошкове. Циљ је и да се побољша пружање услуга грађанима у области заштите животне средине усклађене са законодавством ЕУ. Постројење за пречишћавање отпадних вода обухвата примарни, секундарни и терцијални третман: механичко, физичко хемијско и биолошко пречишћавање са активним муљем на линији воде, анаеробном дигестијом примарног и вишка муља уз продукцију биогаза, који као погонско гориво СНР когенератора служи за добијање електричне и топлотне енергије често са уштедом електричне енергије и до 70% на линији муља. Обезводњени муљ (муљни колач са 22% С.М.) се соларним сушењем доводи у облик лигнита са 95% С.М.и спаљује се у цементари. Пројектни период постројења је до 2035. године, капацитета 90000 ЕС, са средњим дневним протоком при сувом времену 21.210 m³/д. (слика 1).



Слика 1. Постројење за пречишћавање отпадних вода
Figure 1. Wastewater Treatment Plant

За период од четири и по године, постројење је пречистило 30.410.530 m³ инфлуента, односно 32.023.764 m³ ефлуента, који се у оквиру законских граничних вредности упуштао у реципијент Западну Мораву. Од 133 инцидентне ситуације, које смо детектовали на постројењу, 88 узорака је било ван оквира законских граничних вредности из разних индустријских субјеката (хемијске, прехранбене, металопрерађивачке, текстилне и друге гране индустрије), са неорганским и биолошким теже и лакше разградивим материјама.

У већини случајева, ефикасност пречишћавања је одговарала законским оквирима, захваљујући терцијалном третману, али често се дешава да нагли прилив индустријских отпадних вода оставља далеко веће последице по микрофлору у биоаерацијским базенима чиме директно угрожава процесе нитрификације и денитрификације.

2. Циљ рада

Циљ рада је подићи ниво еколошке свести и одговорности компанија, инвестирањем у постројења за пречишћавање отпадних вода која истовремено представља испуњавање законом прописаних обавеза и роковима за постизање граничних вредности пре упуштања у систем јавне канализације или реципијент. Главни изазов јесте пројектовање и изградња поузданог система прилагођеног специфичним потребама и буџету компаније, као и стручна подршка у периоду експлоатације.

Индустријске отпадне воде

Отпадне воде су све воде које након употребе постају хемијски или биолошки измењене или загађене. Отпадне воде садрже у себи хемијске и/или биолошке загађиваче и настају као нуспродукт активности из домаћинства, индустрије, пољопривредних активности или површинског сливања атмосферских падавина. Карактеристике отпадних вода варирају у зависности од извора загађења. Око 80% отпадних вода на светском нивоу враћа се у екосистем без третмана или поновне употребе.

Према садржају отпадних материја отпадне воде делимо у четири групе:

I група: Отпадне воде ове групе карактеришу неорганске материје у раствореном и нераствореном облику које поседују специфичне токсичне особине: арсен, бакар, олово, и друге тешке метале, оксиде и хидроксиде метала, сумпор водоник и друга једињења сумпора, соли.

II група: Токсично дејство ове воде је мање од претходне групе и карактеришу га загађујуће суспендоване материје и ситне честице минерала.

III група: Органске материје које садржи ова група отпадних вода нема специфично токсично дејство. Њихово негативно дејство огледа се кроз трошење велике количине кисеоника за оксидацију и дефицит кисеоника у реципијенту.

IV група: Отпадне воде које садрже органске примесе са специфичним токсичним дејством. У њима се могу наћи: феноли, смоле, боје, алкохоли, алдехиди, деривати нафте, једињења сумпора, киселине, базе, органске и неорганске соли и друго. Иако слично делују као прва група, њихово дејство је јаче изражено јер се многе супстанце које улазе у њихов састав споро минерализују.



Слика 2. Индустијске отпадне воде (металоперађивачка грана) у примарном таложнику

Figure 2. Industrial wastewater (metal processing branch) in the primary sedimentation tank

На сликама 2, 3 и 4 види се пример I групе отпадних вода из металоперађивачке индустрије са примесама огромне количине пене, која указује на чишћење и дезинфекцију погона.

Прилив индустријске отпадне воде кроз систем јавне канализације је извршио корозију челика (соли бакра, олова, никла и калаја) на грубим решеткама – (механички третман), направио дисбаланс између присутног угљеника у односу на азот што додатно утиче на процесе нитрификације и денитрификације у комбинованој зони (аерационо/аноксичног) процеса биоаерацијског базена.

Слика 4. показује изглед примарног таложника након инцидента и 24 h композитне узорке из аутосемплера инфлуента, примарног таложника и ефлуента.



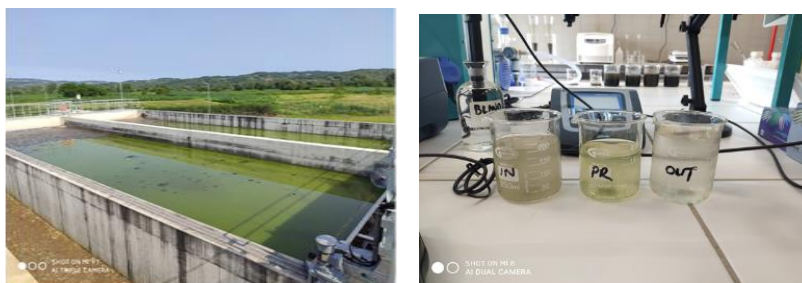
Слика 3. Грубе решетке, финални таложник и биоаерацијски базен након инцидентне ситуације

Figure 3. Coarse grids, final sedimentation tank and bioaeration tank after an incident situation



Слика 4. Примарни таложник и 24h композитни узорци инфлуента, примарног таложника и ефлуента

Figure 4. Primary sedimentation tank and 24h composite samples of influent, primary tank and effluent



Слика 5. Примарни таложник и 24h композитни узорци инфлуента, примарног таложника и ефлуента

Figure 5. Primary sedimentation tank and 24h composite samples of influent, primary tank and effluent

Нагли прилив индустријске отпадне воде IV групе са зеленим обојењем у примарном таложнику може се видети на слици 5, као и композитни узорци улазне и пречишћене отпадне воде. Слична инцидентна ситуација се дешавала данима за редом 2020. године, са различитим обојењима из прехранбене и хемијске гране индустрије (слика 6).



Слика 6. Различита обојења инцидентних узорака из прехранбене и хемијске гране индустрије

Figure 6. Different colors of incident samples from the food and chemical branch



Слика 7. Инцидентни узорци из прехранбене, пољопривредне и грађевинске индустрије

Figure 7. Incidental samples from the food, agricultural and construction industry

Нагли приливи грађевинског материјала, (дрво, камен, песак, шљунак, глина) на слици 7 директно утичу на механичка оштећења улазних пумпи, грубих и финих решетки, чешћих застоја у раду свих пумпи песколова са масоловом (велика количина песка) и муљних пумпи из примарног таложника, што угрожава механичко пречишћавање инфлуента у процесу прелиминарне и

примарне обраде отпадних вода (II и III група отпадних вода). Повећане концентрације укупних чврстих суспендованих материја као и хемијске и биолошке потрошње кисеоника, фосфора и азота изазивају такође индустријске отпадне воде прехранбене индустрије (месна, млечна, проиводња воћа и поврћа, кромпира, рибе и др). На слици 7 видимо примере прилива индустријских отпадних вода из кланице (улив у колектор јавне канализације). Млечно бела боја, на другој слици, указује на драстично велике концентрације цинка, која може да потиче из природног или вештачког ђубрива, са фарми свиња (адитиви хране) или из производње боја и лакова (цинк оксид). Корозија на цевима и вентилима указује на појаву цинка у води, чиме се отпуштају и други тешки метали, бакар и олово.

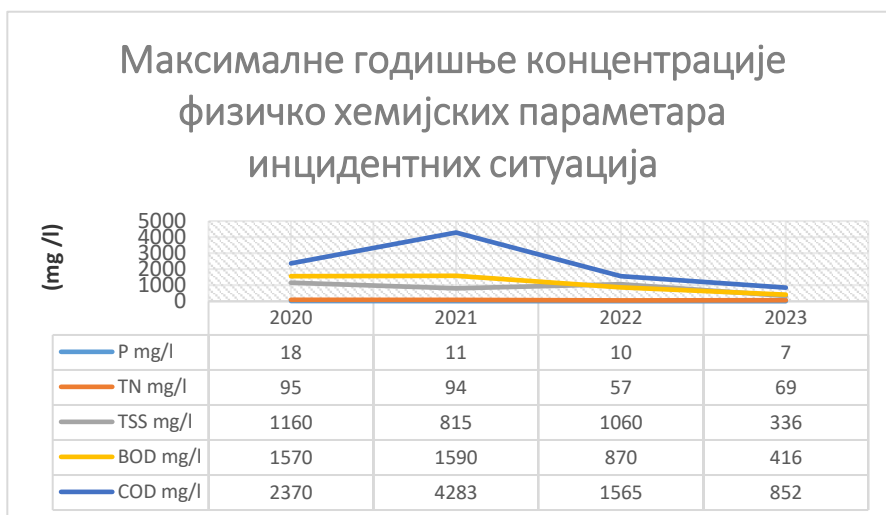


График 1. Графички приказ максималних концентрација параметара индустријских отпадних вода

Graph 1. Graphic representation of maximum concentrations of industrial wastewater parameters

На основу графичког приказа за период од четири године, (график 1), виде се максималне концентрације физичко хемијских параметара индустријских отпадних вода. Максимално детектована концентрација фосфора – 18 mg/l је забележена 2020. године. Укупне суспендоване материје су имале сличне максималне вредности 2020. и 2022. године. Максимална вредност хемијске потрошње кисеоника је забележена 2021. године – 4.283 mg/l.

У 2023. години се види нагли пад максималних концентрација, у односу на претходне године рада, свих физичко хемијских параметара индустријских

отпадних вода, што је позитивно, јер показује да се пробудила еколошка свест и одговорност индустријских субјеката.

3. Терцијални третман и ефикасност пречишавања отпадних вода

Секундарна обрада обухвата биолошке поступке у којима се уз помоћ живих организама разграђују растворене супстанце (органиска материја, једињења азота и фосфора). Микроорганизми у присуству кисеоника разлажу органску материју на угљен - диоксид, воду и амонијак уз увећање сопствене биомасе активног муља у биоаерацијским базенима. Ефлуент из аеробног дела са нитратима се може враћати у анаеробни део обезбеђујући аноксичне услове, чиме се повећава денитрификациона зона, посебно у периоду ниских температура када биолошко уклањање фосфора нема смисла, и када је денитрификација успорена.

Услови усмереног струјања помажу развој микроорганизама, и тиме минимизирају вероватноћу да дође до прекомерног раста филаментозних бактерија које доводе до подизања талога. Раздвојене аерационе зоне обезбеђују радну флексибилност, а избор контролисана аерације помоћу RTC (Real time Control), омогућава уштеду електричне енергије и до 30% за четири радне дувалке. Аерационо/аноксични услови – Комбинована зона омогућава уклањање органског угљеника и азота у процесима нитрификације и денитрификације.

Поједине бактерије имају способност да, у присуству кисеоника уместо органске материје, за своју исхрану употребљавају угљен-диоксид, (као извор угљеника) и амонијак (као извор енергије). Ове групе бактерија оксидују амонијак до нитрита и нитрата (нитрификација).

Нитрати, који су настали у процесима нитрификације, поједине бактерије у анаеробним условима, користе уместо кисеоника, за оксидацију органске материје коју уграђују у своју биомасу, уз издвајање елементарног азота који као гас одлази у атмосферу (денитрификација).

Код биолошког уклањања фосфора, морамо да „преваримо“ бактерије да узимају више фосфора него што им је потребно. Поједине бактерије у присуству кисеоника растворљиве фосфате из воде, претварају у нерастворљиве полифосфате, које у виду гранула у активном муљу, у одсуству кисеоника, отпуштају. Комбинацијом анаеробног и аеробног третмана, утичемо да ове бактерије акумулирају што више полифосфата.

За индустријску отпадну воде која се теже биолошки пречишћава тј. за супстанце које су теже биоразградиве (микроорганизми их не могу користити за своју исхрану), или негативно делују на живи свет, користи се поступак

хемијског пречишћавања. Процес се заснива на додавању хемикалија, са циљем да се растворена једињења преведу у таложиви облик или да се јаке киселине, јаке базе и отрови хемијским реакцијама преведу у мање токсична једињења. За убрзавање процеса таложења користи се 40% водени раствор ферихлорида (коагулант који дестабилизује суспензије) има двојну улогу. Елиминише вишак фосфора у биоаерацијским базенима, (МДК по Правилнику 2 mg/l за ефлуент), и анулира водоник сулфид у биогазу. За угушћивање вишка муља на ротационом угушћивачу, као и анаеробно дигестованог муља у процесима обезводњавања на тракастим пресама, користи се катјонски полиакриламид у облику емулзије (флокулант – средство које подстиче груписање честица у „пахуље“). Терцијалним третманом анулирања азота и фосфора из отпадне воде, расте и ефикасност пречишћавања инфлуента. (табела.1.)

Табела 1. Ефикасност пречишћавања композитних узорака инфлуента и ефлуента (2020-2023)

Table 1. Efficiency of purification of composite influent and effluent samples (2020-2023)

Година	Проток Инфлуента	Средња вр. м ³	ХПК			БПК ₅			УКУПНИ АЗОТ (ТМ)			УКУПНИ ФОСФОР (P)			СУСПЕНДОВАНЕ МАТЕРИЈЕ		
			500	125	≥75	255	25	≥70	38	15	≥80	6	2	≥80	299	35	≥70
			УЛАЗ	ИЗЛАЗ	УКЛАЊАЊЕ	УЛАЗ	ИЗЛАЗ	УКЛАЊАЊЕ	УЛАЗ	ИЗЛАЗ	УКЛАЊАЊЕ	УЛАЗ	ИЗЛАЗ	УКЛАЊАЊЕ	УЛАЗ	ИЗЛАЗ	УКЛАЊАЊЕ
л ³	л ³	л ³	л ³	л ³	л ³	л ³	л ³	л ³	л ³	л ³	л ³	л ³	л ³	л ³	л ³	л ³	
2020	6,065,079	Средња вр.	672.31	66.85	92.28	365.27	17.87	95.59	47.25	22.11	62.71	5.65	1.62	80.37	293.36	18.08	95.34
		мин	218.00	14.10	72.06	70.00	4.50	90.08	15.80	6.76	18.65	1.84	0.10	54.32	82.00	2.30	80.35
		максимум	2386.00	261.00	96.24	1428.00	104.20	98.18	120.00	74.90	80.93	13.90	6.11	95.65	1705.00	78.00	98.06
2021	6,689,340	Средња вр.	575.27	27.43	94.63	230.72	9.68	95.89	41.74	11.12	74.67	4.78	0.85	82.75	213.99	5.18	97.19
		мин	176.00	14.10	86.70	73.45	2.36	83.45	20.70	6.25	57.72	1.93	0.13	36.00	87.00	0.25	89.88
		максимум	2020.00	54.00	98.26	419.79	17.33	99.66	71.20	20.50	86.72	6.81	4.57	97.64	407.00	12.75	99.82
2022	6,088,910	Средња вр.	589.34	40.44	94.23	244.46	12.65	96.11	40.19	9.86	77.22	4.98	0.89	90.94	212.94	20.52	95.56
		мин	211.00	15.50	75.39	84.80	4.18	77.76	26.70	6.87	63.43	2.13	0.04	8.86	58.00	0.25	28.09
		максимум	1745.00	156.00	98.67	449.00	71.60	98.57	55.40	15.90	86.56	8.82	4.22	99.01	605.00	180.50	99.77
2023	7,677,400	Средња вр.	401.29	28.74	92.82	174.31	8.69	94.76	32.98	7.29	76.55	3.77	0.53	89.23	155.05	7.98	95.17
		мин	112.00	9.13	82.41	44.46	2.70	81.44	14.80	3.00	36.86	1.56	0.03	23.58	30.00	0.50	71.59
		максимум	852.00	66.30	97.25	323.50	16.42	98.35	57.70	12.40	100.00	6.69	1.83	98.88	336.25	31.25	99.87

У односу на предвиђене улазне параметре за укупни азот 38 mg/l, уочавамо да је средњи годишњи просек преко 40 mg/l, у периоду од 2020. (47,3 mg/l) до 2023. године, када је та вредност најмања и износи близу 33 mg/l. Зато је и ефикасност уклањања била нижа од 80%. За све друге параметре, ефикасност уклањања је у оквирима законских граничних вредности, тј. преко 90%.

4. Закључак

ЈКП „Водовод“ Крушевац као друштвено одговорна организација има јасну оријентацију ка крајњем кориснику кроз пружање квалитетне услуге дис-

трибуције воде за пиће која ће задовољити квалитетом, квантитетом и здравственом исправношћу. Третманом одвођења и пречишћавања отпадних вода према највишим стандардима заштите животне средине, уз континуирано унапређење услуга у складу са системом квалитета, законском регулативом Републике Србије и потребама корисника. Заштита и очување животне средине, смањење лошег утицаја на здравље људи су основни циљеви настанка пројекта „Постројење за пречишћавање отпадних вода“ града Крушевца, које ће као регионални лидер руководити и будућим постројењима за пречишћавање у општинама Брус и Блаце, чију инвестицију спроводе надлежна министарства.

5. Литература

- [1] Ashbolt N. J, S. R. Petterson, T. A. Stenstrom, C. Schonning, T. Westrell & J. Ottoson, Microbial risk assessment (MRA) Tool; *The Mistra Programme, Urban Water, Report 2005: 7*. Chalmers University of Technology, Göteborg. 2006.
- [2] Gauff Ingenieure, GmbH, *FICHTNER water & transportation*, Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda grada Kruševca, Idejno rešenje, 2014.
- [3] „Eko-vodo project“ DOO Beograd, Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda grada Kruševca, Projekat za izvodjenje, 2018.
- [4] Reh Ž, Čokić S, *Biološko prečišćavanje otpadnih voda, detektivska priča*, Subotica, 2008.
- [5] Jahić M, *Urbani vodovodni sistemi*, Udruženje za tehnologiju vode, Beograd, 1988.
- [6] Ljubisavljević D, Đukić A, Babić B, *Prečišćavanje otpadnih voda*, Građevinski fakultet, Beograd, 2004.
- [7] Milojević M, Daković S, Maksimović Č, Ljubisavljević D, *Prečišćavanje, industrijskih otpadnih voda*, (I deo), Građevinski kalendar, SGITJ, Beograd, 1987.

KARAKTERIZACIJA BIOHEMIJSKIH PARAMETARA I SINERGIJSKIH EFEKATA PRIMARNOG MULJA I KODIGESTIJA OSTATAKA OD HRANE

CHARACTERIZING BIOCHEMICAL PARAMETERS AND SYNERGISTIC EFFECT OF PRIMARY SLUDGE AND FOOD WASTE CO-DIGESTION

IVAN BOGDANOVIĆ¹
NIKOLA RAKIĆ²

Originalni naučni rad
DOI: 10.5937/VIK24443B

Rezime: Šaržni eksperimenti koji se fokusiraju na ravnotežu hemijske potrošnje kiseonika izgledaju kao prikladan metod za dokazivanje sinergijskih efekata kodigestije. Odnos mešanja od 1/3 primarnog mulja/otpada od hrane (zapreminska osnova) pokazao je najveći učinak dostižući proizvodnju biogasa od 618,7 mL/g VS. Sinergijski višak je premašio potencijal dobijen u pojedinačnim ispitivanjima i iznosio je 7,1%, 12,8% i 17% ulaznog COD-a za kodigestije 1, 2 i 3, respektivno. Testovima je uočena skoro neutralna pH vrednost. Iako je zapremina dodatog otpada od hrane bila relativno mala, najviše je doprinela ukupnoj proizvodnji biogasa.

Ključne reči: primarni mulj, otpad od hrane, kodigestija, sinergija

Abstract: Batch experiments focusing on COD balance seem to be suitable method to prove synergetic effects of co-digestion. The 1/3 mixing ratio of primary sludge/food waste (volume basis) showed the highest performance reaching the biogas production of 618.7 mL/g VS. Synergy surplus exceeded potential obtained in individual trials and amounted 7.1%, 12.8% and 17% of input COD for co-digestions 1, 2 and 3, respectively. Almost neutral pH value was observed through tests. Even though volume of added FW was relatively low, food waste contributed the most towards total biogas production.

Key words: primary sludge, food waste, co-digestion, synergy

1. Uvod

Anaerobna digestija je predložena kao relativno isplativa tehnologija za proizvodnju obnovljive energije i tretman materijala sa visokim sadržajem vlage i energije.

¹ Ivan Bogdanović, JKP „Vodovod i kanalizacija“, Kralja Aleksandra I Karađorđevića 48, Kragujevac, ivan.bogdanovic72@gmail.com, ORCID: 0009-0006-6581-8673

² Nikola Rakić, Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka, Sestre Janjić 6, Kragujevac, nikola.rakic@fink.rs, ORCID: 0000-0001-7755-849X

je [7]. Takođe, anaerobna digestija igra važnu ulogu u tretmanu mulja tako što smanjuje zapreminu, poboljšava stabilnost, uništava patogene i proizvodi biogas, koji se može koristiti kao izvor energije [1]. Istorijski gledano, anaerobna digestija se prvenstveno koristila kao proces za uklanjanje organskog otpada, a ne kao sredstvo za stvaranje biogasa [3]. Danas, postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda sa implementiranim digestivnim procesom igraju ključnu ulogu u zaštiti vodotokova od zagađenja, uglavnom zbog svoje jednostavnosti i visoke efikasnosti u uklanjanju organskih materija iz otpadnih voda [4].

Kada je reč o kodigestiji, ona je izvodljiva metoda za proizvodnju biogasa u laboratorijskim i industrijskim razmerama. Glavni izazovi u proizvodnji biogasa korišćenjem tehnologije kodigestije su evaluacija ograničavajućih faktora i koraka, kalibracija parametara, dinamičko ponašanje mikroorganizama i karakterizacija organskih materijala [6].

Zajednička digestija može rezultirati ne samo većim prinosom biogasa (uzrokovanim većim prinosom biogasa u otpadu od hrane u poređenju sa kanalizacionim muljem), već i ubrzanom proizvodnjom biogasa. Brza hidroliza otpada od hrane u ranoj fazi procesa često rezultira faktorima inhibicije koji utiču na stabilnost i održivost kodigestije. Glavni faktori kočenja su amonijačne i kiselinske akumulacije uzrokovane brzim razlaganjem lako svarljivog otpada od hrane do isparljivih masnih kiselina. Ovaj mehanizam dovodi do drastičnog pada pH vrednosti ukoliko nema dovoljno puferskog kapaciteta.

Korišćene tehnike anaerobnog biološkog ispitivanja su relativno brze i precizne metode za procenu potencijala biogasa i ravnoteže hemijske potrošnje kiseonika uzoraka. Štaviše, rezultati se mogu izraziti korisnim inženjerskim terminima koji su pogodni za ocenu performansi procesa. Digestije pojedinačnih supstrata se mogu koristiti za izračunavanje sinergijskog efekta kodigestije kao dodatnog prinosa biogasa u odnosu na izmereni prosek pojedinačnih prinosa. Sinergija nastaje usled pozitivnih efekata mešanja, boljeg snabdevanja makro i elemenata u tragovima i intenzivnije kometaboličke degradacije.

2. Materijali i metode

Za šaržne testove, uzorci inokuluma i primarnog mulja su prikupljeni iz Sistema za prečišćavanje otpadnih voda „Cvetojevac“/ JKP „Vodovod i kanalizacija“ Kragujevac. Mešavina mulja se u ovom objektu tretira u mezofilnim uslovima (približno 37°C) sa hidrauličkim vremenom zadržavanja od 21 dan. Efluent digestora je korišćen kao inokulum. Otpad od hrane je dobijen iz doma Studentskog centra Kragujevac. Glavne komponente uključivale su nepojedenu hranu iz kantine i ostatke pripremljene hrane iz kuhinje.

Eksperimenti biohemijskog metanskog potencijala korišćeni su za otkrivanje mogućnosti proizvodnje biogasa različitih smeša. Četiri različite proporcije primarnog mulja i otpada od hrane testirane su u dvostrukim ponavljanjima: 3/1, 1/1, 1/3 i 1/0 (digestija).

Zapreminski uslovi prihrane reaktora za svaki serijski test mogu se videti u tabeli 1. pH vrednost je beležena korišćenjem digitalnog pH analizatora. Hemijska potrošnja kiseonika je ispitivana zatvorenom $K_2Cr_2O_7$ refluks metodom. Biogas koji nastaje tokom anaerobne šaržne reakcije je meren pomoću vlažnog merača protoka gasa.

Tabela 1. Sastav sirovina korišćenih u BMP testu

Table 1. Composition of feedstock used in BMP tests

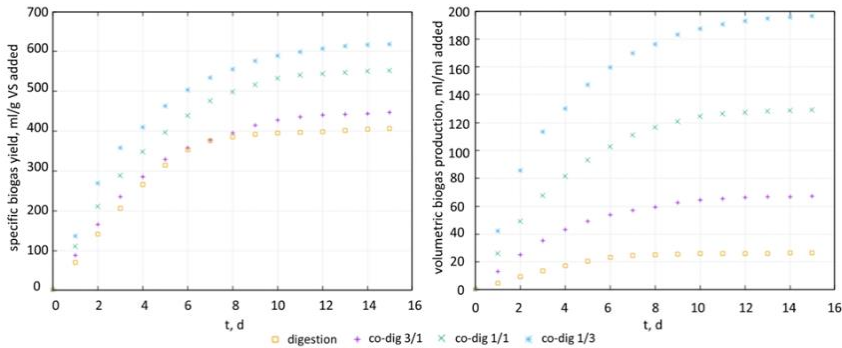
V (l)	V_I	V_{PS}	V_{FW}	% (VS) FW
co-d ₁	3.458	0.407	0.135	23.56
co-d ₂	3.626	0.187	0.187	30.86
co-d ₃	3.715	0.071	0.214	34.35
dig	3.015	0.985	0	n/a
In	3	0	0	n/a

3. Rezultati

Razvoj specifične proizvodnje biogasa digestije primarnog mulja i mešavina za kodigestiju ilustrovan je na Grafiku 1 levo. Serijski testovi su otkrili da je dodavanje otpada od hrane povećalo specifični prinos u poređenju sa digestijom, koja je pokazala najnižu prosečnu kumulativnu proizvodnju biogasa. Veći prinos kodigestivnih smeša je verovatno uzrokovan boljom svarljivošću samog otpada od hrane i komplementarnim karakteristikama digestorskog medijuma.

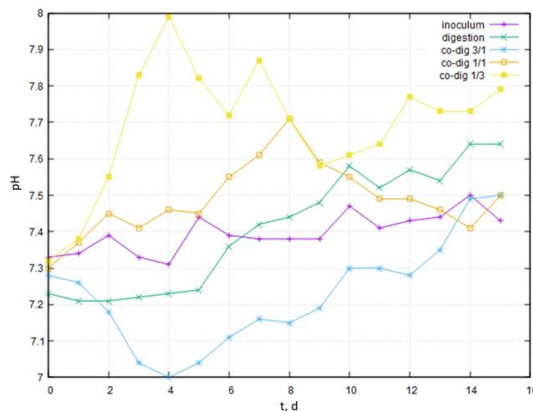
Posle 15 dana digestije, ispitivanje 3/1 (446,9 ml/g VS) pokazalo je prosečan specifični prinos biogasa za 10% veći od samog primarnog mulja (407,0 ml/g VS). Specifična kumulativna proizvodnja biogasa iz 1/1 kodigestijskog odnosa bila je 552,6 ml/g VS. Slika takođe pokazuje da je najizdašnija proporcija smeše bila 1/3, čiji je prosečan prinos biogasa bio 618,7 ml/g VS.

Ovo predstavlja povećanje od 52% i 38% u odnosu na monodigestiju i 3/1 kodigestiju, respektivno. U poređenju sa 1/1 količnikom, specifični prinos biogasa pri kodigestiji 1/3 pokazao je prosečan rast od 12%. Najveće povećanje proizvodnje biogasa uočeno je između kodigestija 3/1 i 1/1, iznosi 24%, i u skladu je sa sadržajem isparljivih čvrstih materija (VS) u smešama [5].



Grafik 1. Normalizovane kumulativne proizvodnje
Graph 1. Normalized cumulative production

pH koncentracija ima važan uticaj u digestijskom sistemu, jer utiče na rastvorljivost organskih materija. Njom se može ispitivati stabilnost procesa i ukazivati na povoljnu atmosferu za mikrobe. Enzimske reakcije mikroorganizama zavise od pH vrednosti [6]. U ovom eksperimentu, blago kiselo stanje supstrata (pH 5,4-6,5) je uravnoteženo finom pH vrednošću inokuluma (7,45). pH vrednosti kodigestije nisu varirale u odnosu na monodigestiju takoreći uopšte (slika 1). Otpor na promenu pH u reaktoru zavisi od puferskog kapaciteta. Isto tako, kanalizacioni mulj i procedne vode obogaćeni su raznim solima; stoga se odgovarajući odnos primarnog mulja u otpadnoj hrani i alkalija generisanih iz aktivnog mulja može koristiti za puferovanje isparljivih masnih kiselina i održavanje optimalnog pH [2]. Čak i bez dodavanja pufera, pH je ostao praktično neutralan tokom testova u svim tretmanima imajući statistički beznačajne fluktuacije, osim kod 1/3 kodigestije.

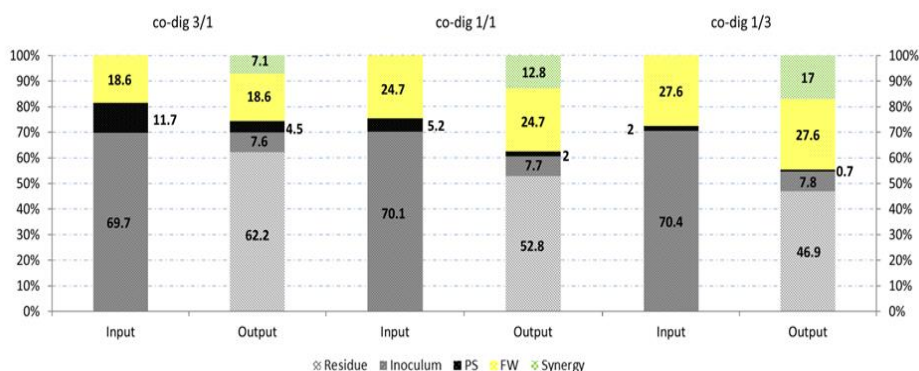


Slika 1. pH vrednosti u reaktorima
Figure 1. pH values in reactors

Bilans hemijske potrošnje kiseonika (COD) se može koristiti za kvantifikaciju obima sinergijskih efekata u ovoj studiji. Bilans je izražen jednačinom:

$$COD_{Ino} + COD_{PS} + COD_{FW} = COD_{Bio} + COD_{Res},$$

gde ulazni COD uključuje inokulum, primarni mulj i otpad od hrane, a izlazni COD u produkovanom gasu i digestatu. Tokom kodigestija je uočena dodatna proizvodnja biogasa, što se pripisuje sinergijskim efektima usled dodatnog obezbeđivanja hranljivih materija (slika 2). Verovatno je da je sinergijski metabolizam rezultirao obimnijim razlaganjem kao i višim specifičnim prinosom biogasa za mulj, semeni i primarni.



Slika 2. Kodigestivni efekti izraženi kroz COD
Figure 2. Codigestive effects expressed through COD

4. Zaključak

Eksperimenti su pokazali da mali dodatak otpada od hrane u primarni mulj umereno povećava prinos biogasa u poređenju sa samim muljem. Mikrobiološki fluks zahteva optimalan pH. Sinergijski efekat, posmatran kroz test biohemijskog metanskog potencijala i balans COD-a, u velikoj meri se pripisuje većem stepenu degradacije i poboljšanim stopama proizvodnje.

5. Literatura

- [1] Kim D. J, Lee J, Bioprocess Biosyst. Eng. 35, 289–296. <https://doi.org/10.1007/s00449-011-0588-x>, 2012.
- [2] Mehariya S, Patel A.K, Obulisamy P.K, Punniyakotti E, Wong J. W. C, *Bioresour. Technol.* 265, 519–531. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.04.030>, 2018
- [3] Muñoz P, Cordero C, Tapia X, Muñoz L, Candia O, *Clean Technol. Environ. Policy* 22, 725–733. <https://doi.org/10.1007/s10098-019-01803-z>, 2020.

- [4] Nazari L, Yuan Z, Santoro D, Sarathy S, Ho D, Batstone D, Xu C. C, Ray M. B, *Water Res.* 113, 111–123. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.055>, 2017.
- [5] Rakić N, Šušteršič V, Gordić D, Jovičić N, Bošković G, Bogdanović I, *Bioenergy Research.* <https://doi.org/10.1007/s12155-023-10620-8>, 2023
- [6] Siddique M. N. I, Wahid Z. A, *J. Clean. Prod.* 194, 359–371. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.155>, 2018.
- [7] Xu F, Li Y, Wang Z. W, *Prog. Energy Combust. Sci.* 51, 49–66. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2015.09.001>, 2015.

**ПОБОЉШАЊЕ АДСОРПЦИОНИХ КАРАКТЕРИСТИКА
ДИВЉЕГ СИРКА ХИДРОТЕРМАЛНОМ КАРБЕНИЗАЦИЈОМ У
МАТЕРИЈАЛ ВИСОКОГ АФИНТЕТА ЗА УКЛАЊАЊЕ ОЛОВА**

**HYDROTHERMAL CARBONIZATION OF JOHNSON GRASS
INTO CARBONACEOUS MATERIAL WITH A HIGH AFFINITY
FOR LEAD REMOVAL**

МАРИЈА СИМИЋ¹

ЈЕЛЕНА ПЕТРОВИЋ²

ЗОРАН МАКСИМОВИЋ³

МАРИЈА ЕРЦЕГОВИЋ⁴ МАРИЈА КОПРИВИЦА⁵

ЈЕЛЕНА ДИМИТРИЈЕВИЋ⁶ ДУШАН МИЛОЈКОВ⁷

Оригинални научни рад

DOI: 10.5937/VIK24449S

Резиме: Процес хидротермалне карбенизације (ХТЦ) је ефикасан за побољшање капацитета адсорпције биљних остатака. У овој студији, дивљи сирак (*Sorghum ha lense*) је трансформисан у угљенични материјал са одличним адсорпционим својствима за третман олова из отпадних вода применом ХТЦ третмана на 220°C. Карбенизација смањује садржај пепела и испарљивих материја у добијеном материјалу

¹ Марија Симић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франше д'Епереа 86, Београд, m.petrovic@itnms.ac.rs, ORCID: 0000-0003-1717-7796

² Јелена Петровић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франше д'Епереа 86, Београд, j.petrovic@itnms.ac.rs, ORCID: 0000-0003-4841-1899

³ Зоран Максимовић, Универзитет у Београду, Фармацеутски факултет, Војводе Степе 450, 11000 Београд, zoran.maksimovic@pharmacy.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0003-2717-0555

⁴ Марија Ерцеговић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франше д'Епереа 86, Београд, m.ercegovic@itnms.ac.rs, ORCID: 0000-0002-7145-8671

⁵ Марија Копривица, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франше д'Епереа 86, Београд, m.koprivica@itnms.ac.rs, ORCID: 0000-0002-1451-5959

⁶ Јелена Димитријевић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франше д'Епереа 86, Београд, j.dimitrijevic@itnms.ac.rs, ORCID: 0000-0002-3830-2392

⁷ Душан Милојков, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франше д'Епереа 86, Београд, d.milojkov@itnms.ac.rs, ORCID: 0000-0003-0746-4185

услед разградње биомасе. Експериментални подаци су анализирани коришћењем Ленгмировог, Фројндлиховог и Редлих-Петерсон модела изотерми. Резултати су показали да Ленгмиров модел изотерме најбоље описује процес адсорпције, са максималним капацитетом од 28,40 mg/g. Ово указује да би дивљи сирак третиран ХТЦ третманом могао бити веома ефикасан адсорбент за пречишћавање отпадних вода.

Кључне речи: хидротермална карбонизација, дивљи сирак, уклањање олова, процес адсорпције, третман отпадних вода

Abstract: The hydrothermal carbonization (HTC) process is effective in enhancing the adsorption capacity of plant residues. In this study, Johnson grass (*Sorghum halepense*) was subjected to the HTC process at 220°C, transforming it into a carbonaceous material with excellent adsorption properties for removing lead from wastewater. Carbonization reduces the ash and volatile content in obtained hydrochar due to biomass degradation. Experimental data was analysed using Langmuir, Freundlich, and Redlich-Peterson isotherm models. The results showed that the Langmuir isotherm model best describes the adsorption process, with a maximum capacity of 28.40 mg/g. This indicates that HTC-treated Johnson grass could be a highly effective adsorbent for treating wastewater.

Key Words: hydrothermal carbonization, Johnson grass, lead removal, adsorption process, wastewater treatment

1. Увод

Биљни остаци имају потенцијал као лако доступна сировина за производњу горива и топлотне енергије. За конверзију ових остатака су се до сада користили различити термо-хемијски и биолошки поступци [1]. Међутим, у последњих пар година, научна заједница је све више усмерена ка испитивању нових и енергетски ефикаснијих процеса. Један од пожељнијих процеса је процес хидротермалне карбонизације (ХТЦ) јер омогућава једноставан поступак конверзије биљних остатака са високим садржајем влаге. Процес се изводи у воденој суспензији при повишеном притиску и повишеној температури, најчешће у опсегу од 150 до 280°C. Као резултат добијају се угљенични материјали са побољшаним карактеристикама. Потврда актуелности ове теме огледа се у великом броју објављених научних радова у којима се као сировина за ХТЦ процес испитују различити биљни остаци као што су пољопривредни отпад, отпад од хране, агроиндустријски отпад и тако даље [2-3]. Поред потенцијала за производњу висококвалитетних чврстих биогорива, ови материјали су захваљујући својој израженој функционалности, показали афинитет ка интеракцији са тешким металима па се стога спектар њихове примене шири и у том правцу. У ту сврху испитана је употреба хидрочађи комине грожђа као потенцијалног адсорбенса за уклањање јона олова из водених раствора. Овај материјал је модификован калијум хидроксидом и као такав примењен за адсорпционе експерименте. Детаљном карактеризацијом установљено је да је

хемијска структура веома погодна за уклањање Pb(II) јона из водених раствора [4]. Поред комине грожђа, лист Пауловније се показао као ефикасна сировина за добијање хидрочађи високог афинитета ка интеракцији са јонима тешких метала [5]. Детаљним испитивањима, утврђено је да оперативни параметри ХТЦ процеса имају велики утицај на структуру добијеног материјала а самим тим и на његове адсорпционе карактеристике. Тако су, Расам и сарадници у свом истраживању показали да притисак и температура играју битну улогу када су у питању адсорпционе карактеристике хидрочађи. У овој студији приказано је да добијена хидрочађ специфичне површине од 862,4 m²/g показује 1,4 пута ефикаснију адсорпцију Pb(II) јона (89,52 mg/g) у поређењу са комерцијалним активним угљем (64,18 mg/g) [6].

За истраживања приказана у овом раду коришћена је инвазивна биљка дивљи сирак. Сирак је подвргнут ХТЦ третману на 220°C у циљу добијања материјала са побољшаним адсорпционим карактеристикама (НС-S). НС-S испитан је као потенцијални адсорбенс за уклањање јона олова из водених раствора. Серија експеримената је изведена у шаржном систему а на експерименталне податке је примењено више равнотежних модела. Циљ овог рада је да развије нови материјал добрих адсорпционих карактеристика за пречишћавање отпадних вода које су контаминирани првенствено тешким металима.

2. Материјал и методе

Дивљи сирак прикупљан је на околном пољу у Кумодражу, Београд. Узорак је испиран неколико пута и сушен на ваздуху након чега је уситњен, осушен до константне масе и као такав коришћен за припрему хидрочађи.

Хидротермална карбонизација узорка је вршена у лабораторијском аутоклаву капацитета 300 ml на 220°C током 1h у присуству воде као реакционог медијума. По завршеној припреми чврста хидрочађ је одвојена од течне фазе филтрацијом, испрана дестилованом водом, сушена на 105°C до константне масе и коришћена за адсорпционе експерименте.

Садржај пепела и испарљивих материја у узорку одређен је гравиметријски. Након одређеног садржаја влаге, одмерено је око 1g узорка у претходно ижарен порцелански тигл и жарен у пећи на 750°C током 2 h. Након хлађења тигл са узорком је измерен а садржај пепела израчунат је на основу формуле (1). За одређивање садржаја испарљивих материја, у петходно ижарени порцелански тигл са поклопцем на 950°C одмерено је 1 g сувог узорка. Узорак је жарен на 950°C током 7 min, охлађен и мерен. Садржај испарљивих материја израчунат је на основу формуле (2):

$$SP = [(m_3 - m_1) / (m_2 - m_1)] \times 100 \quad (1)$$

где је SP – садржај пепела (%), m_1 - маса порцеланског тига (g); m_2 - маса порцеланског тигла са узорком (g), m_3 - маса порцеланског тигла са пепелом (g).

$$IM = [(m_2 - m_3)/(m_2 - m_1)] \times 100 \quad (2)$$

где је IM – садржај испарљивих материја (%), m_1 - маса порцеланског тига са поклопцем (g); m_2 - маса порцеланског тигла са поклопцем и узорком (g), m_3 - маса порцеланског тигла, поклопца и узорка након жарења (g).

Радни раствори су припремани растварањем потребне количине $Pb(NO_3)_2 \times 6H_2O$ (п.а. степена чистоће) у дејонизованој води.

Адсорпциони експерименти су рађени у шаржном систему на орбиталном шејкеру током 2 h. Суспензија је филтрирана кроз филтер хартију а преостала концентрација јона олова у филтрату мерена је методом атомске апсорпционе спектрофотометрије на атомском апсорпционом спектрофотометру (Perkin Elmer 900 T, Waltham, MA, USA). Капацитет адсорпције израчунат је на основу следеће формуле:

$$q_e = (C_0 - C_e) \times V / m \quad (3)$$

где је q_e - количина адсорбованог јона олова на HC-S (mg/g); C_0 - почетна концентрација јона олова у раствору (mg/L); C_e - концентрација јона олова у филтрату (mg/L); V – запремина раствора (L) и m – маса HC-S (g).

Поред тога на добијене резултате примењени су равнотежни модели изотерми и то Ленгмиров, Фројндлихов и Редлицх-Петерсонов модел који су представљени једначинама 4, 6 и 7, респективно [7-9]:

$$q_e = q_{max} K_L C_e / (1 + K_L C_e) \quad (4)$$

где је q_e – количина адсорбованог јона олова на HC-S (mg/g); q_{max} – максимална количина јона олова адсорбованог на HC-S (mg/g); C_e – концентрација јона олова на крају процеса адсорпције (mg/L) и K_L – Ленгмирова константа (L/mg). Вредности K_L и q_{max} су одређени на основу нагиба и дсечка криве која представља зависност q_e од C_e . На основу израчунатих константи, израчуната је вредност бездимензионог фактора R_L на основу следеће једначине:

$$R_L = 1 / (1 + K_L C_0) \quad (5)$$

где је C_0 – почетна концентрација јона олова у раствору (mg/L).

Вредност R_L указује на природу адсорпционог процеса. Уколико су вредности $R_L > 1$ процес је неповољан, уколико је $R_L = 1$ процес је линеаран, у интервалу R_L од 0 до 1 процес је повољан а при вредностима $R_L < 0$ сматра се да је процес иреверзибилан.

Фројндлихов модел је развијен на претпоставкама да на површини материјала постоји више адсорпционих центара и да се процес адсорпције одвија на хетерогеној површини. Математички приказ овог модела дат је формулом (6):

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (6)$$

где је: K_F – Фројндлихова константа и $1/n$ – емпиријски параметар интензитета адсорпције. Вредности K_F и n су одређени из нагиба и одсечка криве зависности q_e од C_e . Параметар n указује на интензитет адсорпције. Афинитет биосорбента према металу је велики уколико су вредности n у интервалу од 2 до 10, сматра се да је афинитет адсорбента према адсорбату велики, умерен при вредностима n од 1 до 2 и слаб уколико је $n < 1$.

Редлицх-Петерсонов модел изотерми се изражава на основу следеће формуле:

$$q_e = K_{RP} C_e / (1 + a_{RP} C_e^g) \quad (7)$$

где су: K_{RP} и a_{RP} Редлицх-Петерсонове константе (L/g) и (mg/L)^{-g}, респективно, и g - емпиријски Редлицх-Петерсонов параметар ($g \leq 1$).

3. Резултати и дискусија

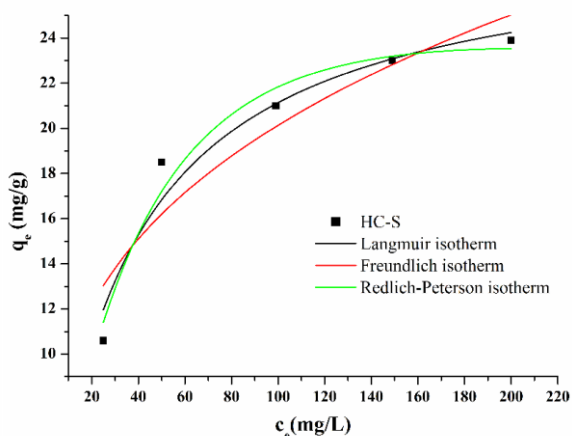
Досадашња истраживања су показала да ХТЦ процес утиче на промене у структури и карактеристикама материјала. У овом раду испитан је садржај пепела и испарљивих материја у узорку. На основу резултата установљено је да садржај пепела опада са 8,82 на 7,84 %, док се садржај испарљивих материја смањује за око 15 % (табела 1.) Ово је битна карактеристика јер шири спектар његове примене.

Табела 1. Садржај пепела и испарљивих материја у дивљем сирку пре и након ХТЦ третмана на 220°C

Table 1. Ash and volatile matter content in Johnson grass before and after HTC treatment at 220°C

Испитивани материјал	SP (%)	IM(%)
Дивљи сирак	8,82	93,25
НС-S	7,84	78,11

На експерименталне резултате примењени су горе наведени равнотежни модели чији је графички приказ дат на слици 1. У табели 2 дат је табеларни приказ израчунатих параметара.



Слика 1. Равнотежни модели изотерми адсорпције јона олова на HC-S
 Figure 1. Adsorption isotherm models of Pb(II) adsorption onto HC-S

На основу добијених резултата и израчунатих параметара (табела 2) утврђено је да HC-S има велики афинитет ка интеракцији са јонима олова из раствора (n у интервалу од 2 до 10) и да је процес адсорпције повољан (R_L је у интервалу од 0 до 1). Ленгмиров модел изотерми најбоље описује процес адсорпције јона олова на HC-S што указује да се процес адсорпције одвија на хомогеној површини. До сличних сазнања дошли су у свом истраживању Петровић и сарадници [4].

Табела 2. Израчунате вредности параметара

Табле 2. Isothermal parameters

Ленгмиров модел изотерме	
q_m (mg/g)	28,4
K_L (L/mg)	0,029
R_L	0,02
R^2	0,95617
Фројндлихов модел изотерме	
K_F [(mg/g)	4,8
n_F	3,33
R^2	0,87792
Редлих-Петерсонов модел изотерме	
K_{RP} (L/g)	1,0
a_{RP} (mg/L) ^{-g}	0,04661
g	0,9535
R^2	0,89302

Вредност максималног адсорпционог капацитета за уклањање Pb(II) јона износи 28,40 mg/g што је задовољавајућа вредност у поређењу са другим адсорбенсима (табела 3).

Табела 3. Упоредна табела максималних адсорпционих капацитета различитих хидрочађи

Table 3. Comparison table of maximal adsorption capacities for different hydrochars

ВРСТА ХИДРОЧАЂИ	q (mg/g)	Реф
<i>Phragmites</i> - хидрочађ	5,46	[10]
Хидрочађ љуске лешника	13,05	[11]
Хидрочађ коштице кајсије	21,38	[12]
Хидрочађ комине грожђа	27,8	[4]
Ова студија	28,40	

4. Закључак

У овом раду испитана је могућност употребе хидрочађи дивљег сирка НС-S за уклањање јона олова из воденог раствора. Садржај пепела и испарљивих материја је испитан у нативном и карбонизованом материјалу. На основу резултата установљено је да се садржај оба параметра након ХТЦ процеса смањује. На резултате добијене адсорпционим експериментом у шаржном систему примењена су три равнотежна модела: Ленгмиров, Фројндлихов и Редлицх-Петерсонов. Резултати су показали да Ленгмиров модел изотерме најбоље описује процес адсорпције, са максималним капацитетом од 28,40 mg/g, што у поређењу са другим материјалима сврстава НС-S у групу материјала са добрим адсорпционим карактеристикама.

5. Захвалница

Аутори се захваљују Министарству просвете, науке и технолошког развоја које је својим финансирањем помогло описана истраживања (бр. 451-03-66/2024-03/200023).

6. Литература

- [1] Liu Z, Quek A, Hoekman S. K, Balasubramanian R, Production of solid biochar fuel from waste biomass by hydrothermal carbonization, *Fuel*, 103, 943-949, 2013.
- [2] Kikuchi Y, Qian Q, Machida M, Tatsumoto H. Effect of ZnO loading to activated carbon on Pb (II) adsorption from aqueous solution. *Carbon*, 44:195–202. doi: 10.1016/j.carbon.2005.07.040, 2006.

- [3] Jiang Q, Xie W, Han S, Wang Y, Zhang Y, Enhanced adsorption of Pb(II) onto modified hydrochar by polyethyleneimine or H₃PO₄: An analysis of surface property and interface mechanism, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Volume 583, 123962, 2019.
- [4] Петровић Ј, Стојановић М, Милојковић Ј, Петровић Ј, Шошгарић Т, Лаушевић М, Михајловић М, Alkali modified hydrochar of grape pomace as a perspective adsorbent of Pb²⁺ from aqueous solution, *Journal of Environmental Management*, Vol 182, 292-300, 2016.
- [5] Koprivica M, Simić M, Petrović J Ercegović M, Dimotrijević J, Evaluation of Adsorption Efficiency on Pb(II) Ions Removal Using Alkali-Modified Hydrochar from Paulownia Leaves, *Processes*, Vol 11, Iss 5, 1327, May 2023.
- [6] Rasam S, Moraveji M. K, Soria-Verdugo A, Salimi A. Synthesis, characterization and absorbability of Crocus sativus petals hydrothermal carbonized hydrochar and activated hydrochar. *Chem. Eng. Process*, 159, 108236[7], 2021.
- [7] Langmuir, L. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *J. Am. Chem. Soc.* 40, 1361–1368, 1918.
- [8] Freundlich, H. M. F. Over the adsorption in solution. *J. Phys. Chem.* 57, 384–470, 1906.
- [9] Redlich O. J, Peterson, D. L. A useful adsorption isotherm. *J. Phys. Chem*, 63, 1024, 1959.
- [10] Amro A. N, Abhary M. K, Shaikh M. M, Ali S, Removal of Lead and Cadmium Ions from Aqueous Solution by Adsorption on a Low-Cost *Phragmites* Biomass. *Processes*, 2019.
- [11] Imamoglu M, Tekir O. Removal of copper (II) and lead (II) ions from aqueous solutions by adsorption on activated carbon from a new precursor hazelnut husks. *Desalination*. 228:108–113. doi: 10.1016/j.desal.2007.08.011, 2008.
- [12] Mouni L, Merabet D, Bouzaza A, Belkhiri L. Adsorption of Pb (II) from aqueous solutions using activated carbon developed from Apricot stone. *Desalination*. 276:148–153. doi: 10.1016/j.desal.2011.03.038, 2011.

**БИОЧАЋ ДОБИЈЕНА ОД ОТПАДНЕ ЛИГНОЦЕЛУЛОЗНЕ
БИОМАСЕ КАО АДСОРБЕНТ ФОСФАТА ИЗ ВОДЕНОГ
РАСТВОРА**

**BIOCHAR OBTAINED FROM WASTE LIGNOCELLULOSIC
BIOMASS AS A PHOSPHATE ADSORBENT FROM WATER
SOLUTION**

*ТАТЈАНА ШОШТАРИЋ¹
ЈЕЛЕНА МИЛОЈКОВИЋ²
ВЛАДИМИР АДАМОВИЋ³
АЊА АНТАНСКОВИЋ⁴
ЗОРИЦА ЛОПИЧИЋ⁵*

*Оригинални научни рад
DOI: 10.5937/VIK24457S*

Резиме: Отпадна лигноцелулозна биомаса из индустрије за прераду воћа и поврћа искоршћена је за производњу биочађи, мултифункционалног материјала, који може да се употреби за везивање фосфата из воде, а након тога као ђубриво за обогаћивање земљишта. Како би се побољшао капацитет везивања фосфата, биочађ добијена процесом споре пиролизе, је подвргнута физичкој модификацији (млевењу), а потом и хемијској модификацији употребом соли метала (магнезијум, гвожђе и калцијум).

¹ Татјана Шоштарић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франше Д 'Епера 86, Београд, t.sostaric@itnms.ac.rs; ORCID: 0000-0002-0359-4399

² Јелена Милојковић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франше Д 'Епера 86, Београд, j.milojkovic@itnms.ac.rs; ORCID: 0000-0002-6117-0703

³ Владимир Адамовић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франше Д 'Епера 86, Београд, v.adamovic@itnms.ac.rs; ORCID: 0000-0002-9644-2430

⁴ Ања Антанасковић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франше Д 'Епера 86, Београд, a.antanaskovic@itnms.ac.rs; ORCID: 0000-0003-4088-8748

⁵ Зорица Лопичић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франше Д 'Епера 86, Београд, z.lopicic@itnms.ac.rs; ORCID: 0000-0002-7251-8699

Везивање фосфата је вршено у шаржном сорпционом систему. Модификована биочађ са најбољим сорпционим капацитетом је окарактерисана инструменталним техникама (SEM и FTIR).

Кључне речи: лигноцелулозна биомаса, биочађ, модификација, сорпција, фосфати

Abstract: Waste lignocellulosic biomass from the fruit and vegetable processing industry was utilised to produce biochar, a multifunctional material that can be used to bind phosphate from water and then as a fertilizer for soil enrichment. In order to improve the phosphate binding capacity, the biochar obtained by the slow pyrolysis is subjected to physical modification (grinding) and then to chemical modification with metal salts (magnesium, iron and calcium). Phosphate binding was performed in a batch sorption system. The modified biochar with the best sorption capacity was characterized by instrumental techniques (SEM and FTIR).

Key Words: lignocellulosic biomass, biochar, modification, sorption, phosphate

1. Увод

Као последица интензивне употребе минералних и органских ђубрива за унапређење пољопривредне производње, пољопривредне дренажне воде, утичу на испуштање хранљивих материја у природне водотокове. Прекомерне количине органских материја доводе до процеса еутрофикације, чиме се смањује количина раствореног кисеоника у воденом екосистему изазивајући угињуће водених организама. Нитратни јони (NO_3^-) када су присутни у релативно великим количинама, подстичу раст алги. Фосфатни јони (PO_4^{3-}) такође, могу да подстакну раст алги и да доведу до цветања токсичних модрозелених алги.

Стога примена минералних и органских ђубрива мора одговарати потребама пољопривредних култура за нутријентима; у супротном висока концентрација нутријената не само што може изазвати еутрофикацију вода, већ и довести до дисбаланса киселости воде/земљишта, а тешки метали и штетне материје могу доспети у подземне и површинске воде [1]. Природни водени системи, категоришу се као еутрофичани када је концентрација фосфата већа од $30 \mu\text{g/l}$ [2].

У досадашњој пракси проучаване су различите технике за уклањање фосфата из отпадних вода, укључујући хемијске преципитације [3], јонске измене [4], микробиолошку деградацију [5], и адсорпцију [6]. Међу наведеним методама, адсорпција је најопширније истражена и коришћена техника, због своје једноставности, високе ефикасности, и исплативост, и због тога што се може користити самостално или у комбинацији са другим методама.

У последње време, међу испитиваним сорбентима за уклањање фосфата, биочађ је привукла велику пажњу захваљујући високом капацитету адсорп-

ције, који произилази од њене порозности, велике специфичне површине и присуства карбоксилних група [7]. Биочађ се може лако произвести од биомасе резличитог порекла, поступком пиролизе, на високим температурама и у анаеробним условима. Предности овог поступка су ниски трошкови производње и еколошка прихватљивост. Међутим, да би се постигло максимално уклањање фосфата, биочађ је неопходно модификовати солима метала (калцијум, магнезијум, гвожђе). Важно је истаћи да сорбент који је адсорбовао фофатне јоне (употребљени сорбент) је могуће даље употребљавати, као оплемењивач земљишта за побољшање његових својстава (као што су плодност, катјонски капацитет измене и рН вредност, стабилизација/имобилизација присутних метала итд.), али и као ђубриво.

У овом раду, тежећи ка поштовању принципа циркуларне економије за фосфатна ђубрива, коришћена је лигноцелулозна отпадна биомаса, пореклом из индустрије за прераду воћа и поврћа, у циљу формулисања ефикасног материјала (биочађи) са мултифункционалном применом у области спречавања загађења и ремедијације животне средине. За формулацију биочађи одабране су коштице шљива, имајући у виду да је Србија један од водећих произвођача шљиве у свету (према извештају Организације за храну и пољопривреду Уједињених нација) и да њиховом прерадом/производњом настају велике количине отпада, који се, нажалост, или сагорева или одлаже на отвореним депонијама.

Како би се допринело минимизирању отпада, биочађ до-бијена од коштица шљива поступком споре пиролизе, подвргнута је различитим третманима модификације у циљу повећања капацитета за везивање фосфата. Како би се формулисао крајњи мултифункционални производ, ма-теријал који је показао најбоље сорпционе перформансе, одабран је за даља испитивања.

2. Материјал и методе

2.1. Полазна биомаса

Узорци коштица шљиве (КШ) преузети су из локалног предузећа за прераду воћа „Фрувита“, Србија. Након пријема, узорци су сушени на собној температури. У зависности од потреба експеримента узорци су или млевени или су мануелно уситњени.

2.2. Пиролиза

Нативна и хемијски модификована биомаса је пиролизована у пећи (Nabertherm 1300, Немачка) при следећим оперативним условима: брзина загревања 10 °C/min, време контакта 1,5 h, температура пиролизе 500°C и проток аргона 200 ml/min. Након пиролизе, биочађ је уситњена и просејана на гранулацију од

0,1 до 0,5 mm и осушена на 105°C током 6 h. Добијена биочађ означена је као КШ-Б.

2.3. Модификација КШ пре пиролизе

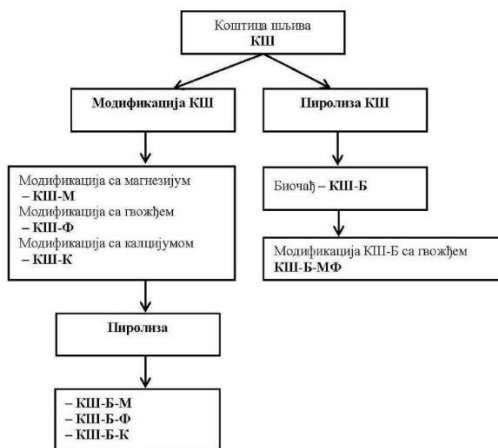
Модификација са магнезијум: целе коштице шљива (КШ) су коришћене у процесу модификованије, користећи $MgCl_2$, према следећој процедури: 10 g узорка КШ је помешано са 200 ml воденог раствора 2M $MgCl_2$. Суспензија је мешана 24 h на орбиталном шејкеру (Heidolph Unimax 1010, USA), брзином 180 обр/мин. Након тога, вршено је упаравање на 80°C и чврст остатак је потом сушен на 105°C током 24 h. Након тога узорак је подвргнут поступку пиролизе и добијени материјал је означен као КШ-Б-М.

Модификација са гвожђем: мануелно уситњене коштице шљива су модификоване са 1M $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ у односу 1:1. Суспензија је мешана један сат на магнетној мешалици на 80°C, а остатак је потом сушен на 105°C током 24 h. Након пиролизе, добијени материјал је означен као КШ-Б-Ф.

Модификација са калцијумом: поступак је исти као и у предходном случају, само што је узорак модификован са 1M $CaCl_2 \cdot H_2O$. Након пиролизе добијени материјал је означен као КШ-Б-К.

2.4. Модификација КШ-Б са гвожђем након пиролизе

Узорак биочађи КШ-Б (10 g) је помешан са (3 g Fe из) $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ у 500 ml дестиловане воде и загреван на 50°C. Како би се рН вредност суспензије подесила на 11, додавана је 0,05 M NaOH, и потом је суспензија мешана 1 h на мешалици.



Слика 1. Шематски прикази добијања различитих узорака биочађи
Figure 1. Scheme of preparation of biochar samples

Након тога узорак је испиран дестилованим водом док се рН вредност није усталила на рН 7. Модификована биочађ је вакумски филтрира и затим сушена преко ноћи на 50°C у сушници. Након пиролизе, добијени материјал је означен као КШ-Б-МФ.

На слици 1 дат је шематски приказ поступака који су вршени. На левој страни дијаграма приказан је редослед поступака пре пиролизе, као и сви добијени материјали, док је на десној страни дијаграма приказан поступак добијања биочађи КШ-Б-МФ, где је најпре вршена пиролиза КШ а тек након тога је уследила модификација предходно добијене биочађи.

2.5. Карактеризација биочађи

Одређивање вредности рН раствора суспензије (pH_{sus}) свих добијених материјала је рађено методом описаном у стандарду ASTM D6851-02. Морфологија узорка биочађи је анализирана помоћу скенирајуће електронске микроскопије (СЕМ), користећи JEOL JSM-6610 LV модел (JEOL Ltd., Јапан), док је за испитивање функционалних група на површини узорака коришћен Thermo Nicolet 6700 FTIR (International Equipment Trading Ltd., САД) (у опсегу од 400–4000 cm^{-1}).

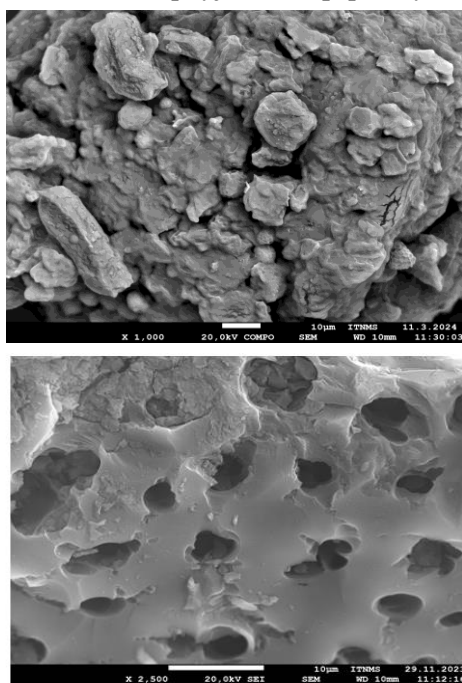
2.6. Сорпциони експерименти

У циљу одређивања афинитета испитиваних узорака према јонима фосфата, урађени су прелиминарни експерименти сорпције у шаржном систему. Као полазни раствор коришћен је раствор KH_2PO_4 концентрације 80 mg/l (PO_4^{3-}). Оперативни услови су били следећи: концентрација сорбента 2g/L, време контакта 120 минута и рН вредност раствора 5,5 (није одржавана константном током сорпционих експеримента). Узорци су мешани на шејкеру (180 обрт/мин, $T=25\text{ }^\circ C$). Након 24 h, одређивана је количина преосталих PO_4^{3-} јона у раствору, спектрофотометријском методом, коришћењем фотометра MD 610 (Lovibond, Немачка).

3. Резултати и дискусија

Резултати приказани у овом раду су део већег пројекта који има за циљ развој новог концепта који полазећи од сировина окарактерисаних као отпад, преко њихове термохемијске модификације, као карајњи циљ има формулацију производа који могу побољшати и квалитет воде и својства земљишта. У раду је испитана синтеза и модификација биочађи како би се добио материјал са оптималним карактеристикама за уклањање фосфата. На основу ефикасности циљане модификације, сорбент са најбољим сорпционим перформансама је одабран и окарактерисан.

Након пиролизе, биочађ, разликује се од полазног материјала, јер као последица овог термичког третмана, порозност и специфична површина материјала се повећавају. Развијена порозна структура (слика 2) и увећана специфична површина биочађи не само што дају боља сорпциона својства, већ и имају вишеструки бенефит за земљиште: утиче на водни капацитет земљишта и на апсорпцију растворљивих органских и неорганских хранљивих материја из земљишта, док, присуство микроорганизама на површини биочађи додатно повећава укупни угљеник у земљишту [8]. Такође, још једна предност биочађи као оплемењивача земљишта је секвестрација угљеника, која произилази из чињенице да биочађ може да апсорбује атмосферски угљен-диоксид.



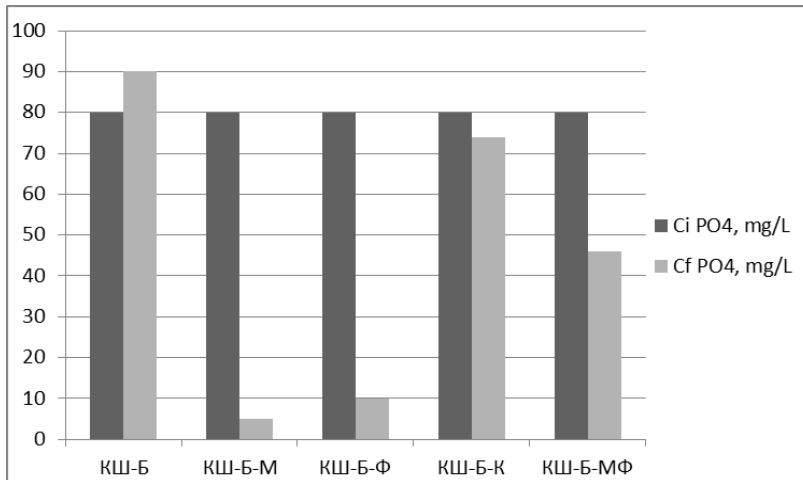
Слика 2. Микрографије нативног узорка КШ - лево и биочађи КШ-Б – десно
Figure 2. Micrographs of native samples KŠ - left and biochar KŠ-B - right

Први корак у карактеризацији формулисаних биочађи било је утврђивање вредност рН суспензије. Овај параметар се може сматрати показатељем укупне доминације киселих, односно, базних функционалних група присутних на површини чврсте фазе узорка. Добијене су следеће вредности: $pH_{sus}=8,68$ код КШ-Б, $pH_{sus}=10,35$ код КШ-Б-М, $pH_{sus}=1,93$ код КШ-Б-Ф, $pH_{sus}=6,77$ код КШ-Б-К и $pH_{sus}=7,23$ код КШ-Б-МФ. На основу ових резултата може се закључити да су површине узорка КШ-Б, КШ-Б-К и КШ-Б-МФ благо алкалне, док је код

узорка КШ-Б-М доминантно присуство базних група. Узорак КШ-Б-Ф се издваја од свих осталих узорак према вредности рН суспензије која износи 1,93. Ова јако кисела реакција може се приписати различитим факторима: пре свега самом поступку модификације, али и као последица комбинације киселих функционалних група формираних током пиролизе, присуства оксида гвожђа, заосталих хлоридних јона. Гвожђе(III) хлорид хексахидрат $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ (који је коришћен за модификацију) се понаша као Луисова киселина.

Процес пиролизе, посебно у присуству FeCl_3 , може подстаћи формирање киселих функционалних група као што су карбоксилне киселине, феноли на површини биочађи. Ове групе доприносе укупној киселости биочађи. Оксиди гвожђа формирану током пиролизе (као што су Fe_2O_3 или Fe_3O_4) у реакцији са водом дају ниску вредност рН. У нискотемпературном третману ($< 400^\circ\text{C}$) дешавају се процеси разлагања и Fe подлеже променама: $\text{FeCl}_3 \rightarrow \text{FeOCl} \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{FeOOH} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$. Међутим, на вишим температурама ($>400^\circ\text{C}$), аморфни угљеник може превести Fe_2O_3 у Fe_3O_4 , Fe , CO_2 и CO .

У наставку истраживања поређена су сорпциона својства добијених узорак биочађи (слика 3). Биочађ добијена од нативног материјала КШ-Б у својој структури садрже фосфор, који у воденом раствору прелази у лако приступачне фосфате, што су и резултати експеримента потврдили.

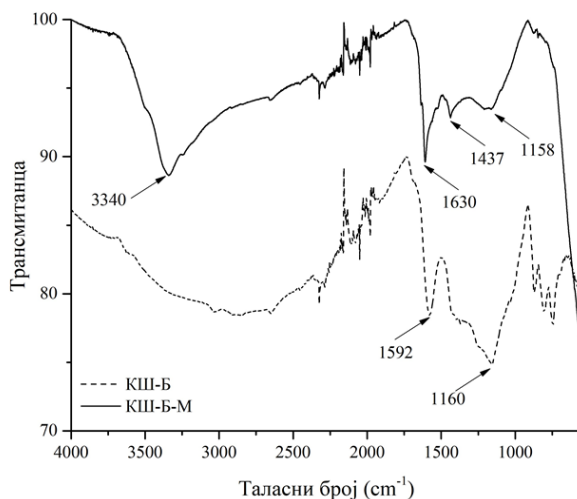


Слика 3. Уклањање фосфата из раствора употребом различито модификованих биочађи

Figure 3. Phosphate removal from solution using modified biochars

Са слике 3, јасно се уочава да узорци КШ-Б-М и КШ-Б-Ф имају највећи афинитет према фосфатним јонима. За даља испитивања одбран је узорак са

најбољим сорпционим перформансама КШ-Б-М, док је узорак КШ-Б-Ф одбачен због веома ниске вредности рН суспензије ($pH_{sus}=1.93$).



Слика 4 ФТИР спектри узорка КШ-Б и КШ-Б-М
Figure 4 FTIR spectra of samples KŠ-B and KŠ-B-M

Како би се утврдило да ли је дошло до промена у површинским функционалним групама после модификације, одабрани узорак КШ-Б-М је подвргнут ФТИР анализи. ФТИР спектри КШ-Б и модификованог узорка КШ-Б-М су приказани на слици 4. У области између 3.700 и 3.000 cm^{-1} , у ФТИР спектрима оба узорка, могу се уочити траке са пиком, која потиче од присуства $O-H$ групе у адсорбованој води [9]. Код узорка КШ-Б-М, два пика на 1630 и 1437 cm^{-1} , могу се приписати ароматичној вибрацији у структури лигнина [10]. Пик на 1158 cm^{-1} указује на присуство $C-O$ деформације метокси групе у лигнину. На 458 cm^{-1} може се детектовати мали пик, који одговара периклазу (MgO), који је потврђује присуство метала и у сагласности са модификацијом примењеном на полазном узорку [11].

4. Закључак

Резултати приказани у овом раду представљају део обимнијих истраживања која имају за циљ да испитају синтезу, модификацију и карактеризацију биочађи како би се добио материјал са оптималним карактеристикама за уклањање фосфата. Добијени резултати, послужиће и као основа за креирање производа који ће се даље примењивати као додаток земљишту. Прелиминарна

испитивања су показала да се формулисана биочађ КШ-Б.М добијена из отпадне биомасе може користити као материјал за уклањање фосфата из контаминираних вода, пружајући могућности у развоју јефтиног и високо ефикасног материјала за решавање проблема еутрофикације. У исто време, бенефити су двоструки: минимизирање отпада и употреба искоришћеног сорбента у ремедијацији земљишта и као „зелено“ фосфатно ђубриво.

5. Захвалница

Истраживања је финансирао Министарство науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије број 451-03-66/2024-03/200023, као и Фонд за науку Републике Србије кроз програм „Призма” и пројекат под називом „From Waste to Food and Soil Enrichment-minimizing waste by applying circular economy in fruits/vegetables processing industry“, акроним „Wastebridge” број 7439.

6. Литература

- [1] Далмација Б, Агбаба Ј, Рончевић С, *Технологија заштите вода*, Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду, 2019.
- [2] Wetzel R, *Limnology, Lake and River Ecosystems*. Vol. 3. San Diego etc, Academic Press, an imprint of Elsevier. 2015.
- [3] Chen Q, Yao Y, Li X, Lu J, Zhou J, Huang Z, Comparison of heavy metal removals from aqueous solutions by chemical precipitation and characteristics of precipitates, *Journal of Water Process Engineering*, 26, 289–300, 2018.
- [4] Bui T. H, Hong S. P, Yoon J, Development of nanoscale zirconium molybdate embedded anion exchange resin for selective removal of phosphate, *Water Research* 134, 22–31, 2018.
- [5] Zuo W, Yu, Y, Huang H, Making waves: microbe-photocatalyst hybrids may provide new opportunities for treating heavy metal polluted wastewater, *Water Research*, 195, 116984, 2021.
- [6] Fei Y, H, Y. H, Design, synthesis, and performance of adsorbents for heavy metal removal from wastewater. *Journal of Materials Chemistry, A* 10, 1047–1085, 2022.
- [7] Ou W, Lan X, Guo J, Cai A, Liu P, Liu N, Liu Y, Lei Y, Preparation of iron/calcium-modified biochar for phosphate removal from industrial wastewater, *Journal of Cleaner Production* 383,135468, 2023.
- [8] Panwar N. L, Pawar A, Salvi, B. L, Comprehensive review on production and utilization of biochar, *SN Applied Sciences* 1, 168, 2019.
- [9] M. Đođić, S. Eraković, A. Janković, M. Vukašinović-Sekulić, I. Z. Matić, J. Stojanović, K. Y. Rhee, V. Mišković-Stanković, S.J. Park, *J. Ind. Eng. Chem*, 47 (2017) 336.

- [10] Pehlivan E, Non-Catalytic and Catalytic Conversion of Fruit Waste to Synthetic Liquid Fuel via Pyrolysis. *Processes*, 11, 2536, 2023.
- [11] Wang P. Zhi M. Cui G. Chu Z. Wang S, A comparative study on phosphate removal from water using *Phragmites australis* biochars loaded with different metal oxides. *R. Soc. Open Sci*, 8, 201789, 2021.

MOGUĆNOSTI MODELA AKTIVNOG MULJA (ASM 1) I ZNAČAJ UVOĐENJA MODELIRANJA U UPRAVLJANJE POSTROJENJIMA ZA PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

CAPABILITIES OF THE ACTIVATED SLUDGE MODEL (ASM 1) AND THE SIGNIFICANCE OF INTRODUCING MODELING IN THE MANAGEMENT OF WASTEWATER TREATMENT PLANTS

IVAN KRSTIĆ¹

Stručni rad

DOI: 10.5937/VIK24467K

Rezime: U ovom radu predstavljene su osnove matematičkog modeliranja projektovanja i rada u sistemima za prečišćavanje otpadnih voda aktivnim muljem ASM. Tokom godina razvijeno je nekoliko modela ASM 1 (Activated sludge model 1), ASM 2, ASM 2d i ASM 3. Istaknuta je potreba da se u domaću praksu upravljanja postrojenjima za prečišćavanje otpadnih voda koje koriste aktivni mulj uvedu ovi modeli.

Ključna reč: aktivni mulj, matematičko modeliranje, ASM 1

Abstract: This paper presents the basics of mathematical modeling of design and operation in activated sludge wastewater treatment systems. Several models ASM 1 (Activated sludge model 1), ASM 2, ASM 2d and ASM 3 have been developed over the years. The need to introduce these models into the domestic practice of managing wastewater treatment plants that use activated sludge was highlighted.

Key Word: activated sludge, mathematical modeling, ASM 1

1. Istorijat

Godine 1982. Međunarodna asocijacija za istraživanje i kontrolu zagađenja vode (IAWPRC, današnja IWA), kako se tada zvala, osnovala je radnu grupu za matematičko modeliranje za projektovanje i rad procesa aktivnog mulja. Stvoreno je nekoliko modela koji nisu doživela neku veću primenu, što zbog ograničenja u brzini računara, što zbog nepoverenja u modele.

¹ Ivan Krstić, Nikole Skobaljica 151/17, Leskovac, krsticiv@gmail.com, ORCID: 0009-0002-7922-8210

Cilj je bio da se napravi platforma sa minimalnom složenošću koja bi se koristila kao osnova za budući razvoj matematičkog modela za uklanjanje azota u procesima aktivnog mulja.

Tako je nastao matematički model ASM 1 koji je predstavljem 1985. godine, a objavljen je 1987. Predstavljen je ne samo model, već i smernice za karakterizaciju otpadnih voda i razvoj kompjuterskih kodova, kao i skup podrazumevanih vrednosti koje su se od tada pokazale kao vrlo korektne jer da daju realne rezultate pri primeni modela uz samo manje izmene parametara.

ASM 1 je bio dobro prihvaćen i naširoko je korišćen kao osnova za dalji razvoj modela. Direktna upotreba ASM 1 za modeliranje bila je skoro nikakva, ali ASM 1 je bio osnova razvoja modeliranja i uz određene modifikacije naširoko primenjivan.

2. Format, notacija i koncept modela aktivnog mulja ASM 1

Prvi konkretni problem je teško praćenje svih interakcija komponenti sistema. Radna grupa je zaključila da matrični format, zasnovan na radu Petersona (1965), za prezentaciju modela nudi najbolju priliku za prevazilaženje ovog problema uz prenošenje maksimalne količine informacija. Štaviše, smatrali su da treba koristiti notaciju koju je preporučila prethodna radna grupa (Grau et al, 1982). U tabeli 1 predstavljen je format matrice i notacije.

Kao primer razmotrimo situaciju u kojoj heterotrofne bakterije rastu u aerobnom okruženju koristeći rastvorljivi supstrat kao izvor ugljenika i energiju. Pojednostavljajući, dešavaju se dva fundamentalna procesa: biomasa se povećava rastom ćelije i smanjuje se raspadanjem. Drugi događaji, kao što su korišćenje kiseonika i uklanjanje supstrata, takođe se dešavaju, ali se oni ne smatraju fundamentalnim jer su rezultat rasta i raspada biomase i povezani su sa njima kroz stehiometriju sistema. Najjednostavniji model ove situacije mora uzeti u obzir koncentracije tri komponente: biomase, supstrata i rastvorenog kiseonika. Matrica koja uključuje sudbinu ove tri komponente u dva osnovna procesa prikazana je u tabeli 1.

Prvi korak u postavljanju matrice je identifikovanje relevantnih komponenti u modelu. U ovom slučaju to su biomasa, supstrat i rastvoreni kiseonik, koji su navedeni na vrhu tabele 1 *i* simbolom, a na dnu po nazivu i jedinicama. U skladu sa IAWPRC nomenklaturom (Grau et al, 1982), nerastvorljivim sastojcima je dat simbol X, a rastvorljivim komponentama S. Podskripti se koriste za specifikaciju pojedinačnih komponenti: B za biomasu, S za supstrat i O za kiseonik. Indeks *i* je dodeljen svakoj komponenti. U ovom slučaju, *i* se kreće od 1 do 3 za tri jedinjenja u ovom jednostavnom modelu.

Drugi korak u razvoju matrice je identifikacija bioloških procesa koji se dešavaju u sistemu; tj. konverzije ili transformacije koje utiču na navedene

komponente. U ovom primeru su uključena samo dva procesa: aerobni rast biomase i njen gubitak raspadanjem. Ovi procesi su navedeni u krajnjoj levoj koloni matrice. Indeks se dodeljuje svakom procesu; u ovom slučaju, $j = 1$ ili 2 .

Kinetički izrazi ili jednačine brzine za svaki proces se beleže u krajnjoj desnoj koloni matrice u odgovarajućem redu. Brzine procesa su označene sa ρ_j , gde j odgovara procesu koji je numerisan u krajnjoj levoj koloni. Ako bismo koristili jednostavan Monod-Herbert (Herbert, 1958) model za ovu situaciju, izrazi brzine bi bili oni u tabeli 1. Monod jednačina, ρ_1 kaže da je rast biomase proporcionalan biomasi, koncentraciji na način prvog reda i koncentraciji supstrata na način mešovitog reda. Herbertov izraz, ρ_2 , navodi da je raspadanje biomase prvog reda u odnosu na koncentraciju biomase. Kinetički parametri koji se koriste u izrazima stopa definisani su u donjem desnom uglu tabele.

Elementi unutar matrice obuhvataju stehiometrijske koeficijente, v_{ij} , koji određuju masene odnose između komponenti u pojedinačnim procesima. Na primer, rast biomase (+1) se dešava na račun rastvorljivog supstrata (-1/Y); kiseonik se koristi u metaboličkom procesu $[-(1-Y)/Y]$. Koeficijenti, v_{ij} , su u velikoj meri pojednostavljeni radom u doslednim jedinicama. U ovom slučaju, svi organski sastojci su izraženi kao ekvivalentne količine hemijske potrebe za kiseonikom (HPK); isto tako, kiseonik se izražava kao negativna potreba za kiseonikom.

Tabela 1. Kinetika i stehiometrija procesa za rast heterotrofnih bakterija u aerobnom okruženju

Table 1. Process kinetics and stoichiometry for heterotrophic bacterial growth in an aerobic environment

tok procesa		→			
bilans mase ↓	komponente →	1	2	3	brzina procesa, ρ_j [$\text{ML}^{-3} \text{T}^{-1}$]
	j proces ↓	X_B	S_s	S_o	
	1 rast	1	-1/Y	$-\frac{1-Y}{Y}$	$\frac{\tilde{\mu} S_s}{K_s + S_s} X_B$
	2 izumiranje	-1		-1	$b X_B$
	uočena brzina konverzije	$r_i = \sum_j r_{ij} = \sum_j v_{ij} \rho_j$			
	Stehiometrijski parametri: Pravi prinosa rasta: Y	BIMASA [M(HPK)L ⁻³]	SUPSTRAT [M(HPK)L ⁻³]	KISEONIK [M(-HPK)L ⁻³]	Kinetički parametri: Maksimalna specifična brzina rasta $\tilde{\mu}$ Konstanta poluraspada K_s Specifična brzina odumiranja b

Konvencija predznaka koja se koristi u matrici je negativna za potrošnju i pozitivna za proizvodnju. Svi stehiometrijski koeficijenti su definisani u donjem levom uglu tabele. Stvar koja je bila uzrok zabune i u izvesnoj meri kočila razvoj teorije o aktivnom mulju je nedostatak dosledne mere koncentracije organskog materijala u otpadnim vodama. Tri mere su postale prihvaćene i široko se koriste: biohemijska potreba za kiseonikom (BPK), ukupni organski ugljenik (TOC) i hemijska potražnja za kiseonikom (HPK). Od njih verujemo da je HPK nesumnjivo superiorna mera jer samo ona obezbeđuje vezu između elektronskih ekvivalenata u organskom supstratu, biomase i iskorišćenog kiseonika (Gaudi i Gaudi, 1971). Štaviše, bilansi mase se mogu napraviti u smislu HPK-a. Shodno tome, koncentracije svih organskih materijala, uključujući biomasu, su u ovom modelu aktivnog mulja je u HPK jedinicama.

3. Opis ASM 1

U tabeli 2 prikazane su komponente i procesi u sistemima aktivnog mulja koje je neophodno poznavati da bi se uspešno odredila kinetika i stehiometrija procesa oksidacije ugljenika, nitrifikacije i denitrifikacije.

3.1. Komponente obuhvaćene u ASM 1

Komponente u modelu su prikazane na vrhu i dnu tabele 2. Rastvorljive inertne i čestice inertne organske materije, S_i i X_i , nisu uključene ni u jedan proces konverzije i stoga njihove kolone ($i = 1$ i 3 , respektivno) nemaju stehiometrijske koeficijenate. Ipak, oni su uključeni jer su važni za performanse procesa. Rastvorljiva inertna organska materija doprinosi enfluentnom HPK-a. Čvrsta inertna organska materija postaje deo isparljivih suspendovanih čvrstih materija u sistemu aktivnog mulja. Kao što je ranije diskutovano, svi organski sastojci, uključujući i čestice, izraženi su u HPK jedinicama i to je prikazano u tabeli 2.

Krećući se niz kolonu $i = 2$, može se videti da se lako biorazgradivi supstrat, S_s , uklanja rastom heterotrofnih bakterija u aerobnim ili anoksičnim uslovima i formira se hidrolizom čestica organske materije zarobljene u bioflokulu.

Kolona $i = 4$ otkriva da se sporo biorazgradivi supstrat X_s uklanja hidrolizom, ali nastaje raspadom i heterotrofne i autotrofne biomase. Drugim rečima, raspadanje dovodi do transformacije ćelijskog materijala u sporo biorazgradiv supstrat.

Kolone gde $i = 5$ i 6 predstavljaju biomasu u sistemu, pri čemu X_{BH} označava heterotrofnu biomasu, a X_{BA} autotrofnu biomasu. Kretanje niz kolonu $i = 5$ otkriva da se heterotrofna biomasa može formirati rastom u aerobnim ili anoksičnim uslovima. Nestaje raspadanjem. Kao što se vidi u koloni $i = 6$, rast autotrofa se javlja samo u aerobnim uslovima. I oni su nestali raspadanjem.

Kolona $i = 7$ sadrži čestice koje nastaju kao produkt raspadanja biomase, X_p (Kountz i Fornei, 1959; McKinney i Ooten, 1969). Što se kinetike procesa i stehiome-

trije tiče, one nastaju raspadom i heterotrofne i autotrofne biomase, ali se ne uništava.

Kolona $i = 8$ sadrži koncentraciju DO , S_O , u reaktoru. za kiseonikom. Drugi akceptor elektrona uključen u model je nitratni azot, S_{NO} , koji se proizvodi aerobnim rastom autotrofnih bakterija i uklanja tokom anoksičnog rasta heterotrofne biomase, što se može videti pomeranjem niz $i = 9$ kolone.

Kolona $i = 10$ sadrži rastvorljivi amonijačni azot, S_{NH} , za koji se pretpostavlja da je zbir jonizovanog (amonijum) i nejonizovanog (amonijak) oblika.

Kolona $i = 11$ sadrži rastvorljivi organski azot, S_{ND} , koji nastaje hidrolizom čestičnog organskog azota i amonifikacijom se pretvara u amonijačni azot. Čvrsti biorazgradivi organski azot, X_{ND} , dat je u koloni $i = 12$. Generiše se raspadom i heterotrofne i autotrofne biomase, i_{XB} , minus količina povezana sa inertnim česticama, $f_P i_{XP}$, i gubi se amonifikacijom.

Kolona $i = 13$ predstavlja ukupnu alkalnost, S_{ALK} . Uključivanje alkaliteta u model nije od suštinskog značaja, ali je njegovo uključivanje poželjno jer pruža informacije pomoću kojih se mogu predvideti neopravdane promene pH. Sve reakcije koje uključuju dodavanje ili uklanjanje vrsta sa kapacitetom prihvatanja protona i/ili dodavanje ili uklanjanje protona će izazvati promene u alkalnosti.

3.2. *Procesi obuhvaćeni u ASM 1*

Osnovni procesi ugrađeni u model navedeni su u krajnjoj levoj koloni tabele 2, dok su njihovi izrazi brzine navedeni u krajnjoj desnoj koloni. U osnovi, razmatraju se četiri procesa: rast biomase, raspadanje biomase, amonifikacija organskog azota i 'hidroliza' organskih čestica koje su zarobljene u bioflokou.

Proces 1. je aerobni rast heterotrofne biomase. Ispitivanje reda 1 u tabeli 2 pokazuje da se rast odvija na račun rastvorljivog supstrata i rezultira proizvodnjom heterotrofne biomase. S tim u vezi je i korišćenje kiseonika.

Proces 2 predstavlja anoksični rast heterotrofne biomase sa nitratnim azotom kao terminalnim akceptorom elektrona. Kao i aerobni rast, on se dešava na račun lako biorazgradivog supstrata i rezultira heterotrofnom biomasom. Nitratni azot služi kao terminalni akceptor elektrona i njegovo uklanjanje je proporcionalno količini uklonjenog lako biorazgradivog supstrata minus količina formiranih ćelija.

Aerobni rast autotrofne biomase prikazan je u procesu 3 tabele 2. Rastvorljivi amonijačni azot služi kao izvor energije za rast nitrifikatora koji rezultira autotrofnom ćelijskom masom i nitratnim azotom kao krajnjim proizvodima. Pristup usvojen za modeliranje propadanja heterotrofne biomase je u osnovi koncept smrti-regeneracije, a prikazan je u procesu 4. tabele 2. Tu se može videti da je usvojeni izraz brzine prilično jednostavan, odnosno prvog reda u odnosu na koncentraciju heterotrofne biomase. Međutim, koeficijent brzine se razlikuje i po konceptu i po veličini od uobičajenog koeficijenta opadanja. Propadanje autotrofa, dato u procesu

5, i tretira se na potpuno isti način kao i propadanje heterotrofa. Rastvorljivi organski azot se pretvara u amonijačni azot kroz reakciju prikazanu u procesu 6 tabele 2. Ova jednostavna jednačina prvog reda je empirijske prirode, ali se pokazalo da je adekvatna za modeliranje konverzije kada je spojena sa jednačinom brzine procesa za hidrolizu. zarobljenog organskog azota (Dold i Marais, 1986).

U redovima 7 i 8 u tabeli 2 prikazani su modeli koji su usvojeni za hidrolizu sporo biorazgradivih organskih materija i biorazgradivog organskog azota. Degradacija sporo biorazgradivih organskih materija je veoma važna za realistično modeliranje sistema aktivnog mulja, jer je prvenstveno odgovorna za postizanje realističnih prostorno-vremenskih i realno vremenski zavisnih profila akceptora elektrona.

Tabela 2. Kinetika i stehiometrija procesa oksidacije ugljenika, nitrifikacije i denitrifikacije u sistemu aktivnog mulja

Table 2. Kinetics and stoichiometry of carbon oxidation, nitrification denitrification processes in the activated sludge system

Komponente		>	i	1	2	3	4	5	6	7	8
j	Proces	↓		S _I	S _S	X _I	X _S	X _{B,H}	X _{A,H}	X _P	S _O
1	Aerobni rast heterotrofa				$-\frac{1}{Y_H}$			1			$-\frac{1 - Y_H}{Y_H}$
2	Anoksični rast heterotrofa			$-\frac{1}{Y_H}$			1				$-\frac{1 - Y_H}{2,86 Y_H}$
3	Aerobni rast autotrofa								1		$-\frac{4,57 - Y_A}{Y_A}$
4	Propadanje „smrt“ heterotrofa						1-f _p	-1		f _p	
5	Propadanje „smrt“ autotrofa						1-f _p		-1	f _p	
6	Amonifikacija rastvorljivog organskog azota										
7	Hidroliza „zarobljenih“ organizama				1		-1				
8	Hidroliza „zarobljenog“ organskog azota										
Posmatrana brzina konverzije (ML ⁻³ T ⁻¹)			$r_i = \sum_j v_{ij} \rho_j$								

Komponente		>	i	1	2	3	4	5	6	7	8
j	Proces			S _I	S _S	X _I	X _S	X _{B,H}	X _{A,H}	X _P	S _O
Stehiometrijski parametri: Heterotrofni rast Y _H Autotrofni rast Y _A Frakcija biomase prirast čestičnih produkata f _P Masa N/Masa HPK u biomasi i _{X,B} Masa N / Masa HPK u produktim biomase i _{X,P}				Ras. inertna organska sup. [M(HPK) ⁻³ L ⁻³]	Lako biorazgradive organske supstance [M(HPK) ⁻³ L ⁻³]	Čestična inertna org. sup. [M(HPK) ⁻³ L ⁻³]	Sporo biorazgradiv supstrat [M(HPK) ⁻³ L ⁻³]	Aktivna heterotrofna biomasa [M(HPK) ⁻³ L ⁻³]	Aktivna autotrofna biomasa [M(HPK) ⁻³ L ⁻³]	Čestični produkti nastali propadanjem biomase [M(HPK) ⁻³ L ⁻³] [M(COD) ⁻³ L ⁻³]	Kisemonik (negativni HPK) [M(-HPK) ⁻³ L ⁻³]

Tabela 3. Kinetika i stehiometrija procesa oksidacije ugljenika, nitrifikacije i denitrifikacije u sistemu aktivnog mulja (nastavak)

Table 3. Kinetics and stoichiometry of carbon oxidation, nitrification and denitrification processes in the activated sludge system (continuation)

Komponente		i	9	10	11	12	13	Brzina procesa ρ _i (ML ⁻³ T ⁻¹)
j	Proces		S _{NO}	S _{NH}	S _{ND}	X _{ND}	S _{ALK}	
1	Aerobni rast heterotrofa			-i _{XB}			$-\frac{i_{XB}}{14}$	$\eta_H \left(\frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left(\frac{S_O}{K_{O,H} + S_O} \right) X_{B,H}$
2	Anoksični rast heterotrofa	$-\frac{1}{2,86}$		-i _{XB}			$\frac{1 - Y_H}{14 - 2,86 Y_H}$ $-\frac{i_{XB}}{14}$	$\eta_H \left(\frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left(\frac{S_O}{K_{O,H} + S_O} \right)$ $\left(\frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) X_{B,H} \eta_g$
3	Aerobni rast autotrofa	$\frac{1}{Y_A}$		$-\frac{i_{XB}}{Y_A}$			$-\frac{i_{XB}}{14}$ $-\frac{1}{7Y_A}$	$\eta_A \left(\frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) \left(\frac{S_O}{K_{O,A} + S_O} \right) X_{B,A}$
4	Propadanje „smrt“ heterotrofa					i _{XB} - f _P i _{XP}		b _H X _{B,H}
5	Propadanje „smrt“ autotrofa					i _{XB} - f _P i _{XP}		b _A X _{B,A}
6	Amonifikacija rastvorljivog organskog azota				-1		$\frac{1}{14}$	k _a S _{N,D} X _{B,H}

Komponente		i	9	10	11	12	13	Brzina procesa ρ_i (ML ⁻³ T ⁻¹)
j	Proces		S _{NO}	S _{NH}	S _{ND}	X _{ND}	S _{ALK}	
7	Hidroliza „zarobljenih“ organizama							$k_h \frac{X_S/X_{B,H}}{K_X + (X_S/X_{B,H})} \left[\left(\frac{S_O}{K_{O,H} + S_O} \right) + \eta_h \left(\frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_O} \right) \left(\frac{S_{N,O}}{K_{N,O} + S_{N,O}} \right) \right]$
8	Hidroliza „zarobljenog“ organskog azota				1	-1		$\rho_7 \left(\frac{X_{N,D}}{X_S} \right)$
Posmatrana brzina konverzacije (ML ⁻³ T ⁻¹)								
Stehiometrijski parametri: Heterotrofni rast Y_H Autotrofni rast Y_A Frakcija biomase prirast čestičnih produkata f_P Masa N/Masa HPK u biomasi $i_{X,B}$ Masa N / Masa HPK u produktim biomase $i_{X,P}$			Nitrarni i nitrinji azot $\left[\frac{M}{N} \right] L^{-3}$	NH_4^+ + NH_3 azot $\left[\frac{M}{N} \right] L^{-3}$	Rastvoreni bioprazgradivi organski azot $\left[\frac{M}{N} \right] L^{-3}$	Čestični bioprazgradivi organski azot $\left[\frac{M}{N} \right] L^{-3}$	Alkalitet (molame jedinice)	Kinetički parametri: - heterotrofni rast i propadanje $\hat{\mu}_H$, $K_S, K_{O,H}, K_{NO}, b_H$ - autotrofni rast i propadanje $\hat{\mu}_A$, $K_{NH}, K_{O,A}, b_A$ - korekcionni faktor za anoksični rast heterotrofa η_g - amonifikacija k_a - hidroliza k_h, K_X - korekcionni faktor za anoksičnu hidrolizu η_h

4. Zaključak

Autor ovog rada svestan je da svaki tehnolog ili inženjer neke druge struke koji rade na postrojenjima za preradu otpadnih voda može relativno lako doći do ovih informacija. Međutim, kako sam obišao većinu postrojenja za preradu otpadnih voda nisam primetio da se matematičko modeliranje primenjuje niti se njemu razmišlja o njemu na ozbiljnijem nivou (kupovina programa, obuka kadra). Ovaj rad ima za cilj da inicira rad na matematičkom modeliranju procesa aktivnog mulja, pogotovo modele ASM 2d i ASM 3, čije je korišćenje u svetu u sličnim fabrikama postalo u neku ruku obavezno. Kako je ovo multidiscipliniran projekat neohodno je da inženjeri iz svih fabrika za preradu otpadnih voda zajedničkim radom (sa svim svojim kapacitetima i iskustvom) polako uvode matematičko modeliranje u svoje sisteme.

5. Literatura

- [1] Henze Mogens, Willi Gujer, Takashi Mino Mark van Loosdrecht, *Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3*, IWA Task group on mathematical modelling for design and operation of biological wastewater, IAWPRG, 1987.
- [2] Carlsson B, *The Activated Sludge Model No 1 ASM1*, Uppsala universitet, 2016.
- [3] Mulas M, *Modelling and Control of Activated Sludge Processes*, Dottorato di Ricerca in Ingegneria Industriale Università degli Studi di Cagliari, 2006.

МОГУЋА РЕШЕЊА ТРЕТМАНА САНИТАРНИХ ОТПАДНИХ ВОДА МАЊИХ НАСЕЉА И ИНДИВИДУАЛНИХ ДОМАЋИНСТАВА

POSSIBLE SOLUTIONS FOR THE TREATMENT OF SANITARY WASTEWATER OF SMALLER SETTLEMENTS AND INDIVIDUAL HOUSEHOLDS

ИВАНА МИТРОВИЋ¹
СВЕТЛАНА НИКОЛИЋ²

Стручни рад
DOI: 10.5937/VIK24475M

Резиме: Отпадне воде су све воде које након употребе постају хемијски или биолошки измењене и загађене. Оне настају као нуспродукт активности из домаћинства, индустрије, комерцијалних активности, пољопривредних активности или површинског отицаја атмосферских падавина. Њихове карактеристике су условљене врстом извора загађења, а најчешће се под отпадним водама подразумева комбинација различитих типова, насталих из неколико извора загађења. Садржај штетних и токсичних материја може загадити земљиште, воду и ваздух и тиме имати директан утицај на здравље људи. Све активности везане за управљањем отпадним водама требају тежити ка одрживости у потрошњи, коришћењу и третмана вода. Одрживост је стање глобалног система, укључујући аспекте животне средине, социјалне и економске аспекте, у којима су потребе садашњости задовољене без отежавања развоја будућим генерацијама. Одрживим развојем се испуњавају садашње потребе без угрожавања могућности будућих генерација да задовоље своје сопствене потребе.

Кључне речи: отпадне воде, одрживи развој

Abstract: Wastewater is any water that becomes chemically or biologically altered and polluted after use. It is produced by various activities including household, industrial, commercial, and agricultural processes, as well as surface runoff from rainfall. The composition of wastewater depends on the specific sources of pollution, often combining different types of pollutants from multiple sources. The presence of harmful and toxic sub-

¹ Ивана Митровић, Ђердап услуге ад, Ђердапски пут бб, Кладово, ivana.mitrovic@djerdap.rs, ORCID: 0009-0005-1746-0032

² Светлана Николић, Ђердап услуге ад, Ђердапски пут бб, Кладово, svetlana.nikolic@djerdap.rs, ORCID: 0009-0003-2370-6575

substances in wastewater can contaminate the soil, water, and air, directly affecting human health. Effective wastewater management should prioritize sustainable practices in water consumption, use, and treatment. Sustainability involves addressing environmental, social, and economic aspects to ensure that present needs are met without compromising the needs of future generations.

Key Words: wastewater, sustainable development..

1. Увод

Загађење животне средине подразумева уношење штетних материја полутаната у све њене сегменте - воду, ваздух и земљиште, који су једним мањим делом природног порекла, а већим делом су резултат људске активности. Док загађење воде подразумева измену њених физичких, хемијских и биолошких карактеристика, док је загађење земљишта је највише повезано са урбанизацијом животне средине, при чему долази до нарушавања његове плодности и употребљивости [1].

Управљање отпадним водама треба вршити у складу са начелима Одрживог развоја јер се тако врши одговорно коришћење природних ресурса, смањује загађење и осигурава дугорочна одрживост природних система [2].

Суштина решења проблема је да се за сваки конкретан случај изнађе оптимално техноекономско решење пречишћавања отпадне воде, односно да се постигне Потребан степен пречишћавања (ПСП) отпадне воде, кога треба остварити. Изградња канализационих система, или одводњавање отпадних вода, врши се њихово прикупљање и третирање пре него што се испусте у природну средину што може значајно смањити ниво загађења у природи.

2. Потребан степен пречишћавања отпадних вода

На основу законске регулативе надлежни органи водопривреде прописују водне услове за испуштање отпадних вода у реципијенте.

Стандардом емисије прописане су максимално дозвољене вредности релевантних параметара загађења у пречишћеној води на излазу из постројења за пречишћавање, а пре испуштања у реципијент.

Стандардом имисије унапред су прописане максимално дозвољене вредности релевантних параметара загађења у води реципијента и по правилу исте одражавају природни квалитет реципијента. На постројењу за пречишћавање је постигнут потребан степен пречишћавања ПСП, уколико је концентрација разматраног референтног параметра након мешања пречишћене воде и воде реципијента мања или једнака од максимално прописане вредности тог истог параметру у реципијенту. Уколико није достигнута жељена

концентрација параметра, тада се на постројењу за пречишћавање морају предузети додатне мере, било технолошком надградњом постојеће процесне линије, било побољшањем ефикасности рада постојећих делова постројења. Извод из закона који се односи на воде које су предвиђене за рекреацију, водоснабдевање и наводњавање је дат на следећој табели [3].

Табела 1. Граничне вредности емисије пречишћених комуналних отпадних вода које се испуштају у површинске воде које се користе за купање и рекреацију, водоснабдевање и наводњавање (Сл. гласник бр. 67/2011) [5]

Table 1. Emission limit values of treated municipal wastewater discharged into surface waters used for bathing and recreation, water supply and irrigation (Official Gazette No. 67/2011) [5]

Параметар	јединица мере	Гранична редност емисије
Колифорне бактерије	број у 100 ml	10 000
Колифорне бактерије фекалног порекла	број у 100 ml	2000
Стрптококе фекалног порекла	број у 100 ml	400

2.1. Могућа техничка решења биолошког пречишћавања отпадних вода

У складу са тенденцијом за применом оптималних решења пречишћавања санитарних отпадних вода пре испуштања у реку Дунав предвиђено је документом (6) постављање уређаја „конвенционалног“ типа који функционише на принципу активног муља са гравитационим одвајањем активног муља од третиране воде у танку за завршно таложење. Уређај за третман отпадних вода се састоји од механичког предтретмана и биолошког дела.

Отпадна вода улази у уређај преко уливне цеви и улива се у прву комору танка за примарни третман. На врху коморе је постављена перфорирана корпа за издвајање крупнијих чврстих материја (труње, пластика, папир, дрво, крпе и сл). Отпадне материје, чија је величина мања од отвора на корпи и које су теже од воде, се издвајају на дну танка, а пливајуће материје се заустављају на прегради за издвајање пене. Отпадна вода пролази у другу комору где је смештена ваздушна („мамут“) пумпа за нетретирану отпадну воду.

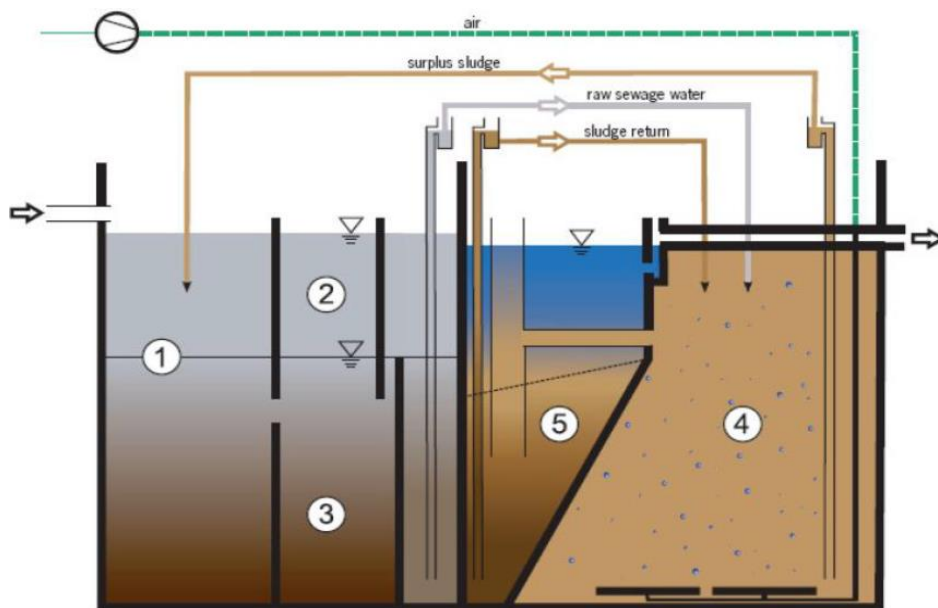
Неравномерност дотока отпадне воде амортизује се у прихватној (буффер) зони уређаја. Предтретирана вода се након тога равномерно упумпава у биолошки део уређаја. Уједначавање хидрауличких удара знатно поспешује стабилизацију ефеката пречишћавања.

Биолошки део уређаја се састоји од аерационог танка (комора за аерацију) и танка за завршно таложење, који је уграђен унутар активационог танка. У аерациони танк се убацују микромехурићи ваздуха. Вода из овог танка улази у танк за завршно таложење, који омогућава третираној води да се гравитационо

одвоји од активног муља. Третирана вода излази из уређаја. Активни муљ пада на дно танка за завршно таложење. Пумпање отпадне воде, повратног муља и вишка муља у уређају се врши помоћу ваздушних (тзв. „мамут“ пумпи). На слици 1 у наставку приказана је принципијелна шема процеса пречишћавања санитарних отпадних вода [3].

Легенда за слику 1:

1. Предтретман, 2. Умирујућа (бафер) зона, 3. Зона за складиштење муља
4. Аерисана комора, 5. Комора за финално исталожавање



Слика 1. Шема процеса пречишћавања санитарних отпадних вода (3)

Figure 1. Scheme of the sanitary wastewater treatment process (3)

Такође појава потребе пречишћавања код санитарних отпадних вода код којих постоје специфичности, као што су специфичне карактеристике терена на коме је потребно изградити постојење за пречишћавање затим да се вода продукује од малог броја корисника, да се емитују повремено и са неуједначеним протоком (хидраулички пикови, мин./макс), такве воде су у већини случајева разблажене и неуједначене по квалитету. Овакви услови су на терену Врле 1–Власинске електране, па је пројектном документацијом дато решење адекватно за постојеће услове [4].

За пречишћавање отпадних санитарних вода у специфичним околностима могу се користити савремене септичке јаме (коморе) израђене у складу са свим

прописаним стандардима (обезбеђена 100%-на водонепропусност. Савремене септичке јаме се доминантно израђују од ојачане пластике – ПП, ПЕ и опремљене су свим потребним прикључцима и ревизионим отворима са поклопцима преко који се врши пуњење и пражњење садржаја и повремене интервенције ради текућег одржавања. Септичке јаме се постављају испод нивоа терена и у претходно припремљену јаму. Пражњење септичких јама се врши камионом цистерном локалног ЈКП у функцији динамике пуњења.

У септичкој јами се одвија пречишћавање отпадне воде у анаеробним условима, са следећим просечним ефектима смањења полутаната у односу на њихов садржај у сировој (нетретираној) води: органске материје (БПК, ХПК) од 40-50% , укупне суспендоване материје око 60-80%, уља и масти око 70-80%, укупни азот до 50%. На слици 2 приказан је изглед типичне савремене једнокоморне септичке јама. (4)



Слика 2. Савремена септичка јама (4)
Figure 2. Figure 2. Modern septic tank (4)

3. Закључак

Изградња уређаја за пречишћавање отпадних вода из канализационих система којима се прикупљају и одводе санитарне отпадне воде и из индивидуалних домаћинстава и објеката има значајану улогу за заштиту природног окружења подручја. Правилним управљањем отпадним водама и смањењем загађења вода, тла и ваздуха утиче се на одржавање и унапређење екосистема тог подручја, очување природног амбијента као и јавног здравља све то су важни аспекти одрживог развоја који је неопходан фактор у свим областима развоја.

4. Литература

- [1] <https://www.activity4sustainability.org/odrzivi-razvoj/>
- [2] <https://www.pikgroup.rs/blog/zagadjivanje-zivotne-sredine-zemljista-vode-vazduha>
- [3] ХЕ „Ђердап 1“ израда Система за пречишћавање отпадних вода, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд 2020.
- [4] Власинске ХЕ сакупљање и пречишћавање отпадних вода ХЕ „Врла 1“, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд 2023.
- [5] Уредба о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање, *Сл. гласник РС*, бр. 67/2011, 48/2012 и 1/2016
- [6] План управљање водама за слив реке Дунав, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд 2014.

МЕРЕЊЕ ПРОТОКА У КАНАЛИЗАЦИОНИМ СИСТЕМИМА БЕОГРАДА: ХИДРОТЕХНИЧКА ФОРЕНЗИКА

DISCHARGE MEASUREMENTS IN BELGRADE SEWER SYSTEMS: FORENSIC HYDRAULICS

ДАМЈАН ИВЕТИЋ¹
ДУШАН ПРОДАНОВИЋ²
МИЛОШ СТАНИЋ³
БРАНИСЛАВ БАБИЋ⁴
РОБЕРТ ЉУБИЧИЋ⁵

Прегледни стручни рад
DOI: 10.5937/VIK244811

Резиме: Једна од последица интензивирањег развоја и додатне урбанизације Београда је повећање оптерећења постојеће комуналне инфраструктуре, које даље води ка раду изван пројектних критеријума. Канализациони системи, за одвођење употребљене и/или кишне воде, су управо примери система који се налазе у оваквој ситуацији. Како би се адекватно проценио капацитет постојећих система, идентификовале слабе тачке и предвидели адекватни кораци за унапређење и даљи развој неопходне су опсежне и детаљне анализе, које морају укључити мониторинг рада система као и развој, калибрацију и употребу одговарајућих хидрауличких модела. У овом раду су приказани поједини аспекти Студије која се спроводи за Београдски водовод и канализацију, а покрива канализационе системе за употребљене воде и кишне воде на територији општине Нови Београд. Акцент је стављен на прикупљање улазних података, развој математичког модела и примере добре праксе у формирању мерних места.

¹ Дамјан Иветић, Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд, divetic@grf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0001-7475-6108

² Душан Продановић, Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд, dprodanovic@grf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0003-0156-7271

³ Милош Станић, Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд, mstanic@grf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-3296-5224

⁴ Бранислав Бабић, Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд, babic@grf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0003-1224-6297

⁵ Роберт Љубичић, Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд, rljubicic@grf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-0218-2843

Кључне речи: канализациони системи, мониторинг, мерење протока, хидротехничка форензика

Abstract: The load increase on the existing municipal infrastructure, leading to the system operation outside the design criteria, is a side-effect of the intense development and over urbanization of the city of Belgrade. Sewer and urban drainage systems are experiencing this situation. To allow for the adequate evaluation of the existing systems' capacity, identification of the bottlenecks and definition of the appropriate steps for the system development and improvements, detailed and complex analysis is needed. System operation monitoring, as well as the design, calibration and application of the suitable hydraulic models, are deemed as mandatory parts of the analysis. In this paper, several aspects of the study, currently being carried out for Belgrade Waterworks and Sewerage, which covers the municipality of New Belgrade. Focus is placed on the input data collection, hydraulic model development and examples of good practice in design of the measurement places.

Key Words: sewer systems, monitoring, discharge measurements, forensic hydraulics.

1. Увод

Главни задатак канализационих система је безбедно прикупљање и одвођење употребљених и атмосферских вода са урбаних сливова у оближњи реципијент. Они треба да функционишу 24 сата дневно, сваки дан у недељи, без прекида. Како би се одржао задовољавајући ниво функционалности, развој ових комуналних инфраструктурних система мора да прати промене на урбаном сливу који опслужује. Међутим, неретко динамика развоја канализационих система не прати динамику урбанизације, што може довести до преоптерећености постојећих делова система, односно разних хазардних ситуација које се последично јављају.

У општем случају, урбанизација је једна од најзначајних антропогених модификација природне средине [1, 2]. Неки од негативних аспеката урбанизације, а од интереса за овде представљену анализу, су: пораст количина отечких вода проузрокован повећањем коефицијента отицаја, пораст у количинама употребљених вода (повећање потрошње пијаће воде), деградација квалитета површинског отицаја и реципијента [3, 4]. Уколико канализациони системи нису довољног капацитета, додатне количине отпадних вода узрокују појаву течења под притиском у колекторима и изливања канализације у урбаним срединама. Такође, тамо где не постоји постројење за прераду отпадних вода (ППОВ), додатна урбанизација доводи до линеарног пораста загађања реке или језера у које се изливају отпадне воде и даљег убрзања деградације животне средине и квалитета живота. Стручна и научна јавност су се последњих деценија фокусирале на прецизније одређивање негативних последица урбанизације на рад канализационих система [5] као и на развој различитих приступа за њихову минимизацију [6]. Примера ради, у срединама

где постоје „историјски“ комбиновани канализациони системи, додатне количине отпадних вода у канализационим системима воде ка чешћем активирању комбинованих прелива (енг. Combined Sewer Overflows – CSO) односно неконтролисано испуштању отпадних вода у реципијент.

Заједничко за све типове канализационих система је да се негативни ефекти урбанизације морају минимизирати одговарајућим техничким решењима, како би се одржао, или евентуално унапредио, претходно достигнут ниво функционалности. Треба имати у виду да се са урбанизацијом и смањењем расположивог простора, скраћује и спектар могућих техничких решења, док се истовремено подиже цена њихове имплементације. Свакако, полазна тачка за разматрање одговарајућих техничких решења, односно даљих корака развоја, представља добро познавање тренутног стања, услова и рада канализационих система.

Град Београд нема ППОВ и последњих година доживљава додатну, станоградњом подстакнуту, урбанизацију. Нови Београд је једна од општина града Београда која предњачи у овом процесу. Имајући у виду промене које је доживела општина последњих година, заједно са планираним развојем тог дела града, Београдски водовод и канализација (БВК) спроводи Студију са циљем поузданог квантификовања тренутног оптерећења система. Студијом су предвиђене и опсежне кампање геодетског снимања постојеће инфраструктуре, мониторинг релевантних хидрауличких и хидролошких величина као и развој, калибрација и употреба математичког модела канализационе мреже.

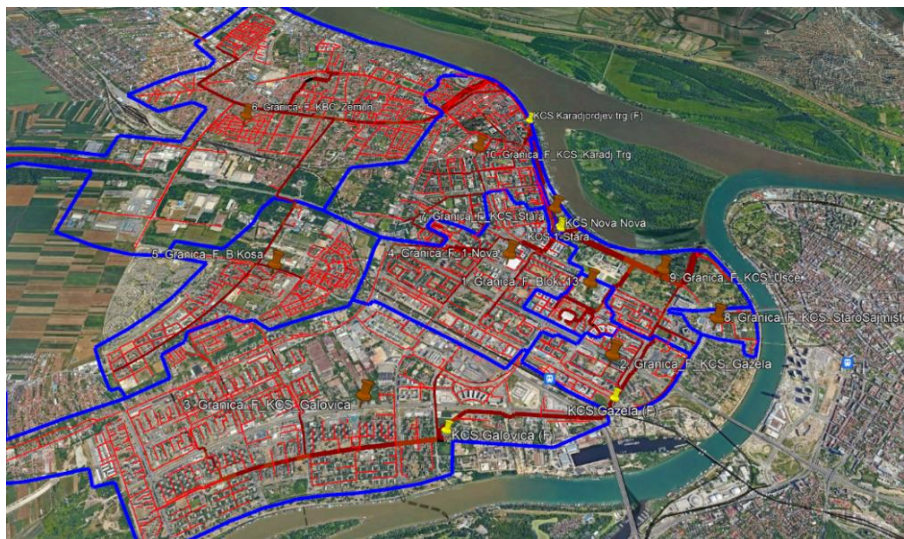
У овом раду су представљени поједини аспекти ове Студије коју спроводе Геопут и Грађевински факултет Универзитета у Београду. Разматрани су почетни кораци, првенствено са аспекта прикупљања постојећих података и организовање кампања за допуну недостајућих података. Такође, илустрована је потреба за синергијским радом на развоју математичког модела и спровођењу мерних кампања. Посебан акценат је стављен на квалитет измерених хидролошко/хидрауличких података, односно на примерима добре праксе у организовању мерних кампања и формирању мерних места унутар канализационих мрежа.

2. Почетна фаза – прикупљање улазних података

У разматрању канализационих система, кључно је добро познавати положај, стање и геометријске карактеристике постојећих инфраструктурних средстава. Такође, неопходно је упознати се са радом система, искуствима запослених, логиком и принципом управљања активним елементима (канализационе црпне станице КЦС, уставе и затварачи).

2.1. Инфраструктурна средства

Прегледом и анализом доступних података, укључујући географски информациони систем (ГИС) и пројектну документацију (историјску и новијег датума) добијених од БВК, формирана је основа обе канализационе мреже (слика 1). Детаљном анализом, која укључује аутоматизовану проверу повезаности компонената, доследности у падовима (кроз наменски софтвер 3D Net развијен на Грађевинском факултету Универзитета у Београду ГРФУБ) али и емпиријску оцену смислености (имајући у виду начела пројектовања хидротехничких објеката и грубо процењене количине вода), утврђено је да постоје одређени недостаци. Упркос редовним активностима БВК, одређен број шахтова, сливника и цеви није био унет у ГИС, док су се код још већег броја јављали нелогични подаци. Примера ради, коте дна шахтова, где неки шахтови или немају уопште дубину (кота дна једнака коти поклопца), или још опасније (јер је теже открити) немају добро унете коте дна, па се јављају цеви са исувише благим или чак негативним нагибом.



Слика 1. Основа канализационог система за употребљене воде, са поделом на подсливове, на територији општине Нови Београд

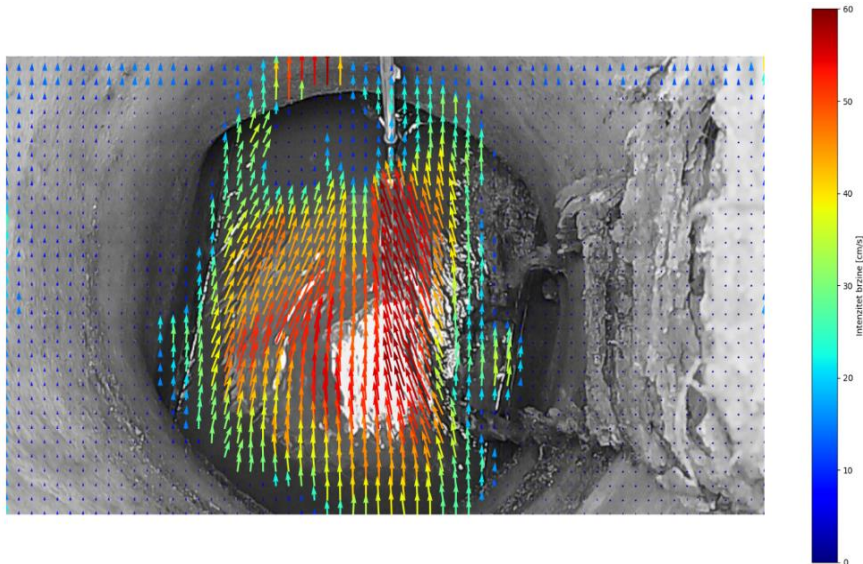
Figure 1. Sewer system layout, divided on sub catchments, in the municipality of New Belgrade

С тим у вези, организована је опсежна геодетска кампања са циљем прикупљања и допуне недостајућих података о канализационим инфраструктурним средствима. Кључни корак у организацији ове кампање је било дефинисање методологије за снимање недостајућих података, које укључује и

прављење видео-фото записа унутрашњости шахтова, будући да се ради о подземној инфраструктури у којој се јављају агресивни и токсични гасови, а која има ограничен приступ. Један од проблема који се јавио током реализације, се односи на немогућност приступа због непрописно паркираних возила или нелегално изграђених објеката. Међутим, прикупљена је велика количина квалитетних података, неопходних за спровођење Студије.

2.2. Рад канализационих система

БВК је оформио одређен број мерних места унутар канализационе мреже и на КЦС за стална мерења као и за повремена, контролна мерења. Иако је већи број мерних места процесног карактера, односно служи за давање података за аутоматско управљање агрегатима на бројним КЦС, ови подаци су веома важни и за разумевање рада, односно упознавање са карактеристикама система. Самим подацима треба приступити критички и обиласком постојећих мерних места утврдити да ли су успостављени сви неопходни услови за квалитетан мониторинг. Пожељно је редундантним мерилима извршити и валидацију. Поред мерених података, у овом процесу веома битну улогу имају и искуства запослених и познавање локалне мреже, поготово теренских екипа и реонских оператера.



Слика 2. Резултат видеометријске обраде видео снимка са приказом распореда вектора површинских брзина у једном шахту

Figure 2. Photogrammetric analysis of video with surface velocity distribution in a manhole

У ванредним ситуацијама (нпр у условима интензивних падавина) када се прекорачи капацитет сливника, канализационих колектора или других елемената система, јављају се хазардне ситуације као што су нпр урбане поплаве. У данашње време, грађани уз помоћ паметних телефона снимају ове појаве и постављају на интернет, односно разне друштвене мреже. Ови снимци такође представљају важан извор информација, јер указују на слабе тачке и дају слику о размерама настале штете. Снимци се могу накнадно и обрадити неким од метода видеометријске анализе [7] како би се квантификовали распореди површинских брзина, дубине течења... (слика 2).

3. Синергија у развоју математичког модела и спровођењу мерних кампања

Развој математичког модела рада канализационих система се мора тумачити као итеративан и континуалан процес. Конкретно, за разматрану Студију, иницијална (нулта) верзија математичког модела је формирана на основу постојећих непотпуних података преузетих из ГИС-а и допуњених претпостављеним и негде интерполованим информацијама. Са напретком геодетске кампање модел је постепено допуњаван и коригован.

Још битније, концептуално разумевање рада система је развијано паралелно са организацијом и прогресом кампања за мерења хидрауличких величина унутар канализационих мрежа. Одабир мерних локација, о чему ће бити више речи у наредном поглављу, је вршен на основу података из иницијалног математичког модела. Међутим, неретко се након обиласка терена и извиђања специфичности будућих мерних локација, учоче нови детаљи према којима се врши корекција математичког модела. Још чешће се на основу снимљених временских серија дубина или протока, схвати да је концептуална претпоставка о нпр повезаности цеви на одређеној микролокацији била погрешна. Овиме се потврђује нужност синергијског развоја математичког модела и мерних кампања унутар канализационе мреже, у склопу процеса анализе комуналних инфраструктурних система.

4. Како обезбедити поузданост измерених хидролошко/хидрауличких величина?

Измерени подаци о интензитету и висини падавина (хидролошки) на сливу, као и дубинама, брзинама и протоцима (хидраулички) на карактеристичним деоницама мреже, у већини случајева представљају најпоузданији извор информација о раду канализационог система. Међутим, обезбеђивање поузданости измерених података, поготово унутар канализационе мреже и на мерним локацијама које нису специјално прилагођене мерењима, је захтеван

посао. Једно прилично конзервативно, али корисно правило, је да се измереним подацима не верује све док се не потврди да сви потенцијални узроци проблема у мерењима нису имали утицај на рад мерила. Мање конзервативно правило је да се подацима не верује док се редувантном методом/мерилом не добију исте или сличне (у границама мерне несигурности) вредности. Користан алат представља и анализа мерне несигурности која се мора спровести према дефинисаним правилима [8].

4.1. Одабир мерних локација и мерне методе

Кључан аспект у обезбеђивању поузданости измерених хидрауличких података је избор мерне локације и одговарајуће мерне опреме. Код одабира мерне локације, најбитније је добити репрезентативне податке, односно податке меродавне за анализу која се спроводи. На нивоу Студије која обухвата целу општину као што је Нови Београд, мерне (макро)локације су одабране тако да се ухвати биланс вода у канализационим системима за употребљене и кишне воде, па су тако одабране локације на испустима и највећим КЦС-ама.



Слика 3. Мерно место на прагу унутар сабирне грађевине на потисима ЦС Стара и ЦС Нова, опремљено са мерилом дубине и редувантним мерилима брзине и дубине

Figure 3. Measurement location inside the manhole with inflows from PS Stara and PS Nova, equipped with a level gauge and redundant velocity and level sensor

Поред тога поједина мерна места су формирана како би се створила адекватнија слика на идентификованим „уским грлима“. Други део овог поступка представља одабир микро локације односно положаја мерила који је уско повезан са избором мерне методе. Овде треба имати у виду да не постоји „сребрни метак“ односно универзално решење које ће увек поуздано радити, већ се овај деликатан посао ради у зависности од хидрауличких услова на микролокацији, карактеристика флуида, геометријских карактеристика проводника, услова средине и цене [9]. Када год постоји могућност, треба искористити предности постојећих објеката у мрежи, па је тако током спроведене Студије формирано неколико мерних места на локацијама где постоји једнозначна веза између дубине и протока – пример оваквог места је праг у сабирној грађевини на потисима ЦС Стара и ЦС Нова (слика 3). У овом случају се познавањем хидраулике и уз помоћ контролног мерења са редувантним мерилом, може формирати стабилна и поуздана зависност између висине преливног млаза и протока, чиме се обезбеђује посредно мерење протока помоћу једног мерила дубине. Тамо где услови не дозвољавају овакву везу, неопходно је поставити и мерило дубине и мерило брзине, како би се дошло до протока!

4.2. Формирање редувантних мерних места

Посебан детаљ у метролошкој пракси у канализационим системима је потреба за формирањем привремених, редувантних мерних места кад год се раде мерења унутар канализационе мреже. Током Студије је оформљено једанаест мерних места где је постављена опрема која је радила континуално, у периоду од месец дана, и преко петнаест привремених редувантних мерних места, на којима су рађена привремена (до две недеље) и ad-hoc, тренутна мерења. Континуална мерна места су пружала податке, који су коришћени у калибрацији математичког модела, док су редувантна мерна места вршила привремену али неопходну контролу квалитета. Примера ради за мерно место приказано на слици 3, основна Q-H веза је формирана на основу геометрије прага и теоријског познавања феномена непотопљеног и потопљеног преливања преко прага. Редувантним мерењем брзине и дубине на самом прагу, извршена је корекција коефицијента преливања (смањен је за 3%) за непотопљено преливање, а и поузданије је одређен коефицијент преливања за потопљено преливање. Анализом мерне несигурности дефинисана је укупна мерна несигурност од свега 6% за непотопљено преливање.

5. Закључак

Додатна урбанизација Београда, са акцентом на општину Нови Београд, доводи до пораста оптерећења на канализационе системе. Како би се обезбедио

адекватан рад канализационих система и проценило тренутно стање, односно одредиле будуће неопходне активности БВК спроводи тренутно Студију која обухвата опсежну геодетску кампању снимања инфраструктурних средстава, кампање мерења хидролошко/хидрауличких величина и развој, калибрацију и употребу математичких модела рада канализационих система. У овом раду су анализирани поједини аспекти ове Студије, за које се сматра да су неопходни како би Студија дала сврсисходне резултате. Акцент је стављен на прикупљање улазних података, синергију у развоју математичког модела и спровођењу мерних кампања као и на начине обезбеђивања поузданости измерених хидрауличких података. Посебно је апострофирана потреба за формирањем редувантних мерних места са циљем унапређења поузданости мерења.

6. Захвалница

Аутори се захваљују колегама и колегиницама из БВК на подршци и сарадњи током реализације Студије. Посебну захвалност упућују сарадницима из Геопута, Стефану Миљковићу и Немањи Гајићу, као и колегама са Грађевинског факултета Драгутину Павловићу, Жељку Василићу, Милошу Милашиновићу и Ивору Кокотовићу.

7. Литература

- [1] Antrop M, Landscape change and the urbanization process in Europe. *Landscape and urban planning*, 67(1-4), pp.9-26, 2004.
- [2] Wu J, Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions. *Landscape and urban planning*, 125, pp.209-221, 2014.
- [3] Vietz G. J, Rutherford I. D, Fletcher T. D. and Walsh C. J, Thinking outside the channel: Challenges and opportunities for protection and restoration of stream morphology in urbanizing catchments. *Landscape and Urban Planning*, 145, pp.34-44, 2016.
- [4] Semadeni-Davies A, Hernebring C, Svensson G. and Gustafsson L.G, The impacts of climate change and urbanisation on drainage in Helsingborg, Sweden: Combined sewer system. *Journal of Hydrology*, 350(1-2), pp.100-113, 2008.
- [5] Braud I, Breil P, Thollet F, Lagouy M, Branger F, Jacqueminet C, Kermadi, S. and Michel K Evidence of the impact of urbanization on the hydrological regime of a medium-sized periurban catchment in France. *Journal of hydrology*, 485, pp.5-23, 2013.
- [6] Locatelli L, Gabriel S, Mark O, Mikkelsen P. S, Arnbjerg-Nielsen K, Taylor H, Bockhorn B, Larsen H, Kjølbj M. J, Blicher A. S. and Binning, P. J, Modelling the impact of retention–detention units on sewer surcharge and peak and annual runoff reduction. *Water Science and Technology*, 71(6), pp.898-903, 2015.

- [7] Ivetić D, Ljubičić R, Milašinović M, Prodanović D. and Pavlović D, Merenje protoka otpadnih voda u kanalizacionim mrežama: Kombinovanje inovativnih sa konvencionalnim mernim metodama. In *44. međunarodna konferencija "Vodovod i kanalizacija'23"*, Zlatibor, 10-13. oktobar 2023.
- [8] Bertrand-Krajewski J. L, Uhl M. and Clemens-Meyer F. H, *Uncertainty assessment in: Metrology in Urban Drainage and Stormwater Management* (Eds Bertrand-Krajewski J. L, Clemens-Meyer F. H, Lepot, M). IWA Publishing, 2021.
- [9] Godley A, Flow measurement in partially filled closed conduits. *Flow Measurement and Instrumentation*, 13(5-6), pp.197-201, 2002.

UPRAVLJANJE INTELIGENTNIM SISTEMIMA VODOVODA I KANALIZACIJE

CONTROL OF INTELIGENT WATER SUPPLY AND SEWAGE SYSTEMS

STANKO STANKOV¹

Pregledni stručni rad

DOI: 10.5937/NIK24491S

Rezime: Komunalna preduzeća u čijem su delokrugu vodosnabdevanje i kanalizacioni sistemi upravljaju složenom, međusobno povezanom infrastrukturom kako bi se osigurao konzistentan pristup dovoljno bezbednoj vodi potrošačima. Za ostvarivanje ovog cilja potrebne su efikasne računarske tehnike za održavanje nadzora i optimalnog upravljanja sistemima za distribuciju vode. U radu se sagledavaju softver i sistemi za upravljanje inteligentnim vodovodnim mrežama, kao deo njihove višeslojne strukture, uključujući nove računarske tehnike zasnovane na veštačkoj inteligenciji. One pružaju isplativa rešenja za složene probleme iz stvarnog života s kojima se konvencionalno računarstvo ne može nositi. Rešenja koja se razmatraju omogućavaju adekvatno upravljanje vodovodnim preduzećima, što doprinosi efikasnom modeliranju i predviđanju ekstremnih događaja i poboljšanju funkcionalnosti vodovodne mreže u svakodnevnim uslovima.

Ključne reči: vodosnabdevanje, inteligentni sistemi, upravljanje

Abstract: Utilities companies whose scope includes water supply and sewage systems manage a complex, interconnected infrastructure to ensure consistent access to sufficiently safe water for consumers. To achieve this goal, efficient computer techniques are needed to maintain monitoring and optimal control of water distribution systems. The paper looks at software and systems for managing intelligent water networks, as part of their multi-layered structure, including new computing techniques based on artificial intelligence. They provide cost-effective solutions to complex real-life problems that conventional computing cannot handle. The solutions under consideration enable adequate control of water supply companies

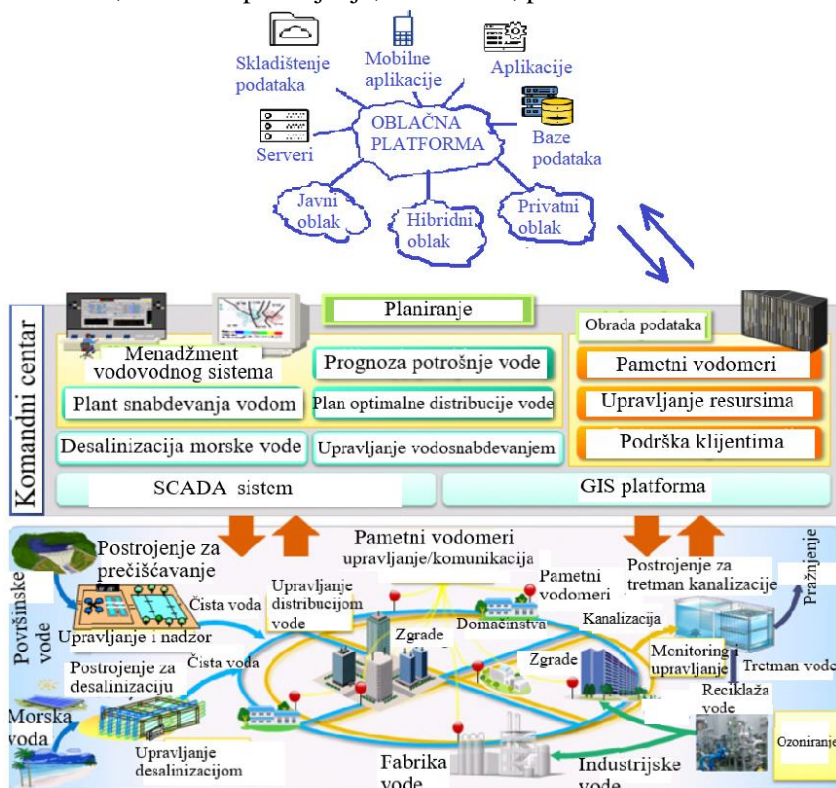
¹ Stanko Stankov, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Aleksandra Medvedeva 4, Niš, stanko.stankov@elfak.ni.ac.rs, ORCID: 0009-0002-4264-3111

which contributes to efficient modeling and forecasting of extreme events and improving the functionality of the water supply network in everyday conditions.

Key Words: water supply, intelligent systems, control

1. Uvod

Inteligentna vodovodna mreža je potpuno integrisani skup komponenata i rešenja koja na osnovu mnoštva prikupljenih podataka omogućavaju vodovodnim preduzećima da optimizuju sve aspekte distribucije vode, skupljanja otpadnih voda i sistema za njihovo prečišćavanje [1, 2]. Blok šema kompleksnog inteligentnog sistema vodovoda i kanalizacije, koji je povezan sa oblačnom platformom, prikazana je na slici 1. Najčešće se razmatra 5-slojni model inteligentnih vodovodnih mreža. Prvi sloj obuhvata fizičke komponente – izvorišta, brane, akumulacije, cevovod, pumpne stanice, bunarska postrojenja, rezervoare, prekidne komore i dr.



Slika 1. Blok šema upravljanja inteligentnim sistemom vodovoda i kanalizacije
 Figure 1. Block diagram of the control of the intelligent water supply and sewerage system

U drugom sloju su uređaji i oprema u polju: senzori koji mere različite parametre poput protoka, pritiska, nivoa i kvaliteta vode, kao i daljinski upravljani uređaji kao što su pumpe, razni elektromotorni pogoni, regulacioni i on/off ventili. Ovi elementi automatizacije instalirani su u pomenutim postrojenjima prvog sloja.

U trećem sloju vrši se akvizicija podataka i komunikacija. Tu su uključeni sistemi za skladištenje i prenos podataka sa udaljenih lokacija, a ti se podaci prosleđuju u slojeve gde se analiziraju i obrađuju. Koristeći dvosmerne komunikacione kanale, komande se vraćaju drugom sloju zahtevajući od senzora da prikupe određene podatke i naloge izvršnim organima (aktuatorima). Deo ovog sloja su npr. fiksna kablovska mreža, radio, mobilne, Wi-Fi i druge komunikacione tehnologije pomoću kojih se vrši prenos podataka. Četvrti sloj obuhvata upravljanje podacima i njihovu vizuelizaciju, pri čemu se prikupljeni podaci obrađuju i prikazuju na interfejsu prilagođenom operateru preko upravljačko-nadzornog sistema (SCADA), geografskog informacionog sistema (GIS) ili drugih platformi za vizuelizaciju mreže. Ovaj sloj takođe stupa u interakciju sa sistemima i alatima vezanih za sajber bezbednost i za podršku poslovnih funkcija kao što su upravljanje narudžbinama i sistemi za informisanje klijenata. Poslednji, peti sloj primenjuje alate koji integrišu softver za analizu podataka i modeliranje koristeći komunikacione kanale i senzore u mreži. Kao rezultat toga, vodovodna preduzeća mogu automatski daljinski da upravljaju mrežom, uključujući praćenje kvaliteta vode u mreži, automatizovano otkrivanje curenja, optimizaciju rada pumpnih postrojenja i dr. Za rešavanje zadataka u ovom sloju mogu dodatno da se koriste mogućnosti veštačke inteligencije (Artificial Intelligence - AI), upravljanja i analize velikih skupova podataka (Big Data), praćenja u realnom vremenu, mekog računarstva (Soft Computing) koje koristi fazi logiku, veštačke neuronske mreže, genetske algoritme u sklopu oblasti evolutivnog računarstva i tehnike bazirane na primeni teorije grubih skupova [3-5]. Ta rešenja se uvode da bi se omogućila procena potencijalnog uticaja promena u mreži, da se reaguju na vreme i razmotre verovatni scenariji.

2. Upravljanje velikim podacima

Velike količine i velika brzina generisanja raznovrsnih podataka zahtevaju nove oblike obrade kako bi se omogućilo poboljšano donošenje odluka, otkrivanje korelacija i događaja i optimizacija operativnih procesa. Veliki podaci generisani u urbanom okruženju su usko povezani sa softverom inteligentnih sistema vodosnabdevanja, koji analizira velike količine podataka, velike složenosti i izražene heterogenosti. U vodovodnim sistemima postoji brz protok podataka koji se dobijaju od pametnih senzora i vodomera. Čak i za relativno mala vodovodna preduzeća generišu se ogromne količine podataka koje treba uskladištiti i dalje analizirati. Zahvaljujući mogućnostima algoritama AI za analizu velikih podataka, ova

preduzeća mogu da maksimalno koriste dostupne podatke kako bi se donele adekvatne odluke, dok istovremeno poboljšavaju pružanje usluga i smanjuju troškove [4]. Kao grana računarske nauke AI se bavi simulacijom inteligentnog ponašanja. U kontekstu obezbeđivanja efikasnog vodosnabdevanja, AI i mašinsko učenje se uglavnom primenjuju na zadatke donošenja odluka, kao što je način na koji vodovodna preduzeća mogu da maksimalno iskoriste dostupne informacije da bi se donele bolje odluke u vezi optimizacije kapitalnih investicija i smanjenja operativnih troškova, uzimajući u obzir društvene i ekološke spoljašnje uticaje na vodovodni system [5].

Sve hidrauličke promenljive u vodovodnoj mreži pokazuju neku vrstu korelacije zasnovane na fundamentalnim hidrauličkim zakonima. Na osnovu njih su razvijeni numerički algoritmi za pronalaženje curenja u mreži, koji imaju za cilj otkrivanje određenih prostornih i vremenskih obrazaca i anomalija u vrednostima parametara poput protoka i pritiska u različitim tačkama vodovodne mreže. Tako se dobijaju informacije o fizičkim i komercijalnim gubicima. Numeričke metode zahtevaju kalibraciju podataka sa senzora u polju. One su isplativa investicija kada SCADA nadgleda sisteme distribucije vode, pri čemu se koriste dva glavna pristupa analizi mreže: analiza fizičkim metodama i pristup zasnovan na podacima [6].

2.1. Analiza fizičkim metodama

Fizičke metode se zasnivaju na kombinaciji statističkih alata, kao što su tehnike procene stanja, analiza pritiska i hidrauličko modeliranje, pri čemu se koriste univerzalni fizički zakoni na osnovu kojih se regulišu mreže za distribuciju vode. Kombinacija podataka i numeričkih modela na kraju omogućava „digitalnom blizancu“ ili „digitalnom ogledalu“ fizičke mreže za distribuciju vode da testira i verifikuje scenarije u realnom vremenu. Iz operativne perspektive fizički zasnovane metode su polazna tačka za digitalnu transformaciju vodosnabdevanja. Početna faza, nazvana hidraulično modeliranje ne zahteva opsežnu analizu velikih podataka. Vodovodna preduzeća treba da imaju standardni hidraulički model koji može s dovoljnom tačnošću da reprodukuje tipične uslove rada vodovodne mreže, koristeći fiksne parametre i potrošnju vode. Kada je takav model već dostupan, preporučljivo je preći na sofisticiraniju metodu koja uključuje verovatnoće zaključivanja zasnovane na vremenski promenljivim ulazima i parametrima.

2.2. Analitičke metode na osnovu prikupljenih podataka

Metode vođene podacima zasnovane su na primeni AI ili algoritama mašinskog učenja kao što su veštačke neuronske mreže, adaptivni neuro-fazi sistemi zaključivanja itd. Ove tehnike, jednom pravilno obučene na velikim skupovima podataka, mogu izvući informacije i otkriti obrasce bez upotrebe mrežnih jednačina. Neke pojave poput pucanja cevi, habanja spojeva, korozije, formiranja biofilma i dr.

još uvek nisu u potpunosti shvaćene i ne mogu se precizno modelirati. U tim slučajevima metode zasnovane na podacima mogu biti od koristi budući da ne zahtevaju veliku tačnost. Na kraju i fizički zasnovane metode i one zasnovane na podacima mogu se kombinovati u „hibridnu metodologiju“ koja pokušava da integriše najbolje od oba pristupa, s jedne strane hidrauličko modeliranje kao prirodnu evoluciju standardne analize vodovodne mreže, i s druge strane suočavanje s velikim podacima uz korišćenje algoritama na bazi AI za sintezu alata nove generacije.

2.3. Meko računarstvo u razvoju i održavanju sistema vodovoda i kanalizacije

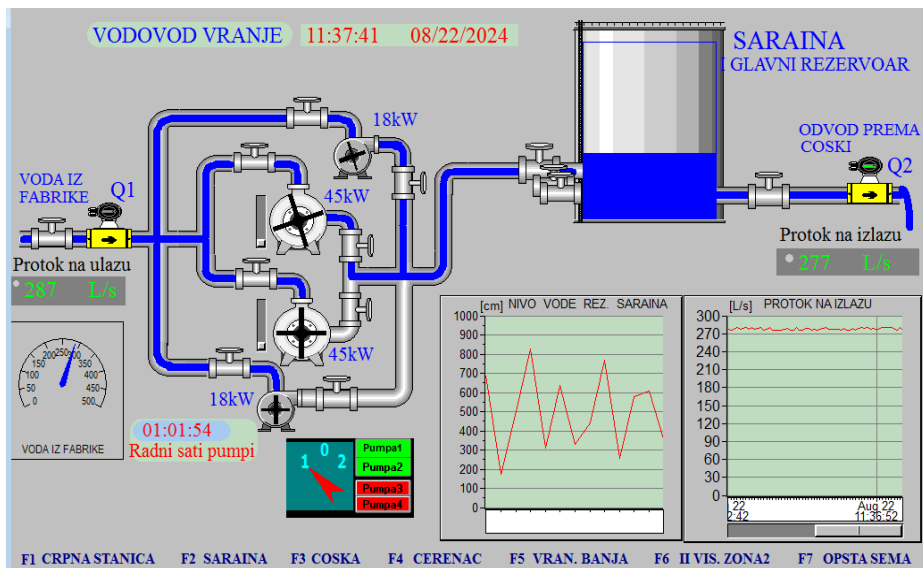
Prethodno navedeni alati, koji uključuju fazi logiku, veštačke neuronske mreže i mašinsko učenje su komponente tzv. mekog računarstva (soft computing). Smatra se poljem u nastajanju u veštačkoj inteligenciji. Takvi računarski alati vrše odgovarajuću obradu velikih podataka generisanih procesima u inteligentnim vodovodnim mrežama i mogu da rukuju složenim bazama podataka.

Osnovni princip mekog računarstva je korišćenje podnošljivog stepena nepreciznosti, neizvesnosti, delimične istine i aproksimacije da bi se postiglo jasno, robusno i jeftino rešenje problema, koristeći funkcionalnost ljudskog mozga kao modela. Glavna prednost ovog načina ogleđa se u izbegavanju visokih troškova tradicionalnih proračuna (hard computing), za koje je karakteristična visoka preciznost.

3. Digitalna transformacija vodovodnih preduzeća

Prvi zadatak vodovodnih preduzeća koja su u procesu digitalizacije sastoji se u analizi postojećih sistema za praćenje vodovodne mreže u pogledu kvantiteta, kvaliteta i dostupnosti podataka. Inicijalna analiza pokazuje da li postoji potreba za dodatnim mernim tačkama ili da li postojeći senzori daju realnu sliku o sistemu distribucije vode [5]. Za vodovodna preduzeća s primenjenim SCADA sistemom, potencijalno operativno poboljšanje zavisice od gustine i karakteristika senzora koji su raspoređeni. Slika 2 prikazuje jedan SCADA ekran pumpne stanice za distribuciju vode preko rezervoara, s dinamikom regulacije nivoa između donje i gornje vrednosti i protoka na izlazu rezervoara [6].

Ova preduzeća moraju pristupiti izazovu digitalne tranzicije počevši od kraja lanca vrednosti (koji su hitni operativni zadaci i koji podaci su potrebni). S obzirom na to, tipičan početni paket za digitalnu transformaciju prvo treba da uključi definisanje operativnih ciljeva i pokazatelja efikasnosti. Pored toga, potrebna je integracija alata za analizu mreže koji obezbeđuju dijagnostiku i podršku pri donošenju odluka za postizanje ključnih indikatora efikasnosti. Takođe, neophodno je u osnovi implementirati SCADA sistem za distributivnu mrežu.



Slika 1. Jedan SCADA ekran pumpne stanice u sklopu vodovodnog sistema
Figure 1. One SCADA screen of the pumping station within the water supply system

Važan aspekt je razvoj optimalnog sistema za praćenje kako bi se dobila maksimalna količina podataka na osnovu minimalnog broja strateški postavljenih senzora u cilju minimizacije troškova. Npr. pametni vodomeri su relativno skuplji od konvencionalnih i njihovo učešće u radu većine vodovodnih preduzeća je ograničeno. Međutim, AI algoritmi uključuju alate za klasifikaciju kako bi podijelili kupce u grupe na osnovu obrazaca potrošnje. Broj pametnih vodomera se tada može drastično smanjiti i strateški postaviti tako da su statistički reprezentativni za odgovarajuće obrasce potrošnje vode u pojedinačnim podgrupama.

Informacije iz integrisanih informacionih i upravljačkih sistema su tačnije, bezbednije i pravovremene i pomažu vodovodnim preduzećima da donesu prave odluke za kraće vreme, kao i da preduzmu proaktivne mere. Ako se implementira inteligentni sistem upravljanja mrežom, curenja se mogu predvideti i sprečiti ili brzo locirati i eliminisati, smanjujući gubitke i štedeći sredstva.

U pametnim vodovodnim mrežama, informacije primljene od SCADA sistema u realnom vremenu upozoravaju operatera na abnormalne promene u hidrauličnom modelu mreže. Na osnovu ovih informacija pokreće se specijalizovani softver za nadzor objekata koji može potvrditi prisustvo curenja i potrebu za preduzimanjem odgovarajućih mera. Ista informacija pokreće proveru sistema održavanja, koji je u integrisanim informacionim i upravljačkim rešenjima povezan s GIS platformom.

Upit GIS sistemu identifikuje tačnu lokaciju problema, pokazuje koja mera bi minimizirala efekat na ostatak mreže i na osnovu toga upravljački sistem zatvara ventile da bi izolovao problematičnu zonu.

U pametnim vodovodnim mrežama, integrisani sistemi takođe uključuju bazu podataka klijenata koja identifikuje na koje će od njih uticati data vanredna situacija. Informacije se prenose sistemu za obaveštavanje klijenata kako bi ih upozorili na predstojeće hitne i zakazane popravke. ERP (Enterprise Resource Planning) platforme za planiranje resursa takođe se mogu uključiti u kompletne integrisane sisteme upravljanja objektima vodovoda, gde se podaci za dato curenje mogu konvertovati u tačne informacije o potrebnom vremenu, troškovima i ljudskim resursima za njegovo otklanjanje, a može se analizirati i uticaj konkretne havarije i drugih operativnih parametara na resurse kompanije u kratkoročnom i dugoročnom periodu [5, 6].

3.1. Softver za praćenje i upravljanje u realnom vremenu

Podaci sa senzora i vodomera omogućavaju vodovodnim preduzećima da prate stanje infrastrukture i kvalitet vode u celoj mreži u realnom vremenu. Curenja se mogu brzo locirati, čime bi se smanjio gubitak vode, a naprezanje cevi se može rano otkriti kako bi se preduzele mere za smanjenje rizika od pucanja. Kontinualno praćenje kvaliteta vode u distributivnim cevovodima takođe omogućava rano upozorenje o potencijalnom zagađenju. Automatske procedure tada mogu da reaguju zatvaranjem ventila i/ili isključivanjem pumpi u pogođenim oblastima da bi se sprečile poplave, dalja oštećenja, gubitak vode ili širenje zagađene vode. Podaci sa senzora u realnom vremenu se takođe mogu koristiti za kalibraciju hidrauličnih modela kako bi se zamenio tradicionalni proces kalibracije, koji je dugotrajan i skup. Cilj upravljanja infrastrukturom vodovodnih preduzeća je postizanje dugoročne održivosti i pružanje pouzdane usluge uz ekonomičan pristup. Programeri alata za upravljanje resursima i održavanjem, projektuju softverska rešenja za preventivno i prediktivno održavanje, funkcije praćenja performansi opreme i automatizovane alate za korektivne mere.

3.2. Softver i sistemi za upravljanje kvalitetom vode

Programeri u ovoj oblasti prave softver za upravljanje kvalitetom vode i procedure testiranja, alate za upravljanje uzorcima, identifikaciju zagađivača i modeliranje tokova zagađivača. Prave se planovi za praćenje zagađenja i upravljanje čišćenjem. Na operatorskim panelima za pregled kvaliteta vode uključuju se alarmi uz svetlosnu i zvučnu signalizaciju ukoliko su parametri koji se prate izvan dozvoljenih vrednosti. Sistemi za detekciju događaja se koriste za analizu podataka sa senzora u realnom vremenu upozoravajući operatere kada je kvalitet vode van standarda. Razvoj i implementacija softverskog alata za podzoniiranje se koristi za

pojednostavljenije strukture distributivne mreže organizovanjem korisnika u virtualne podzone/klastere. Uprošćeni grafikon klastera poboljšava razumevanje uticaja topologije mreže na parametre kvaliteta vode, npr. kao što su ukupni nivoi rezidualnog hlora.

3.3. Softver za projektovanje vodovodne mreže

Softverska rešenja za projektovanje mreže i alati za planiranje vodne infrastrukture koriste GIS, projektovanje pomoću računara (CAD) i funkcije mapiranja. Pored toga, koriste se aplikacije za hidraulično modeliranje, simulaciju i analizu. Takav softver je u stanju da odredi lokaciju i trasu vodovodnih mreža, pumpnih stanica i skladišnih rezervoara, pružajući zaštitu od rizika i nepredviđenih troškova. Specijalizovani AI algoritmi mogu da identifikuju optimalne alternative za proširenje mreže. Oni uzimaju u obzir nesigurnost (približnu tačnost) nekih parametara tokom projektovanja, kao što su prognoza stanovništva i prostorni urbani rast, kako bi se obezbedilo racionalno donošenje odluka. Takvi alati pomažu u projektovanju proširenja mreže sa optimalnom konfiguracijom.

4. Mogućnosti automatizacije

Platforme koje koriste podatke od GIS i SCADA sistema i savremena merna tehnika sve više se implementiraju u sisteme vodovoda i kanalizacije, u cilju praćenja potrošnje vode i rada sistema, praćenja trendova i daljinskog upravljanja pumpama i ventilima. Većem delu tehnologije koja je do sada korišćena, nažalost, nedostajale su mogućnosti prediktivnog mrežnog modeliranja i optimizacije systemske dinamike da bi se predvideo uticaj operativnih ili fizičkih promena na performanse i integritet sistema. Takođe, nedostajali su i alati za prediktivnu analizu da bi se koristili podaci iz merenja za kreiranje prediktivnih modela i trendova, što je onemogućavalo projektante i operatere vodovoda da donose odluke i primoralo ih da se oslanjaju na svoje iskustvo u rekonstrukciji, popravkama i modernizaciji mreža.

Mnoge od novih dinamičkih i analitičkih systemskih tehnologija koje se razvijaju u potpunosti integrisane su s GIS i SCADA sistemima, smart vodomerima, senzorima i infrastrukturom čime se omogućava optimizacija rada mreže u realnom vremenu.

5. Simulacija mreže u realnom vremenu

Hidrauličko ponašanje distributivnih i vodovodnih mreža i rad objekata integrisanih u njih može se predvideti simulacionim modelima mreže. Preko modela se mogu podesiti i obraditi različiti parametri uslova rada, različiti profili opterećenja, kao i odigrati različiti scenariji razvoja. Pomoću platformi za simulaciju

mreže mogu se odrediti, na osnovu date kombinacije radnih uslova, prediktivne vrednosti pritiska, protoka i kvaliteta vode. Ovi mrežni modeli su zasnovani na osnovnim fizičkim principima kao što su zakon održanja energije i zakon kinetike reakcije.

Prediktivna mrežna simulacija ponašanja hidrauličnih sistema takođe omogućava precizno predviđanje odziva sistema kada menadžment sprovodi određene mere i programe koji se odnose na poboljšanje efikasnosti vodovodnih mreža. To mogu biti mere za optimizaciju kvaliteta vode, pouzdanost hidrauličnih objekata, funkcionalnost fizičke infrastrukture itd. Da bi prediktivno modeliranje u realnom vremenu bilo moguće, simulacioni modeli mreže moraju imati ažurirane informacije o statusu vodovodnog sistema i objekata. Pošto se savremenim vodovodnim mrežama upravlja preko SCADA sistema i drugih telemetrijskih platformi, da bi se obezbedio tok ažuriranih infrastrukturnih podataka koji se u kratkim intervalima unose u mrežni model, preporučuje se da se on sinhronizuje sa ovim sistemima. Mrežni modeli omogućavaju simulaciju ponašanja vodovodnih objekata čak i kada su SCADA ili telemetrijski sistem oflajn. Zahvaljujući alatima za prediktivno modeliranje, operateri vodovodnih objekata mogu u realnom vremenu da dobijaju obaveštenja o nastanku događaja drugačije prirode koji utiču na rad i efikasnost vodovodnih mreža, kao i da preduzmu pravovremene mere za rešavanje problema i kritičnih situacija pre nego što dostignu svoj maksimum.

Kroz ovakvu prediktivnu dijagnostiku sistema mogu se generisati i uporediti različiti razvojni scenariji u slučaju neočekivanog događaja, kao i predvideti npr. koji su tačno klijenti pogođeni i kako će na njih uticati. Modeli prediktivnog modeliranja su odličan alat za predviđanje efekta različitih mera koje planira operater vodovoda, kao što su potpuno isključivanje opreme, zaustavljanje pumpi u određenoj zoni, izvođenje remontnih aktivnosti itd.

6. Sajber zaštita

Sve informacione i komunikacione tehnologije, uključujući AI platforme, zahtevaju aktivne i aktuelne mere zaštite od napada hakera. Sajber bezbednost je od posebnog značaja u vodosnabdevanju jer je voda kritičan resurs s visokim rizikom po javno zdravlje i zato što preduzeća za vodosnabdevanje upravljaju bazama poverljivih i ličnih podataka korisnika. Bez odgovarajućih mera, inteligentne vodovodne usluge su izložene povećanom riziku od sajber napada jer mogu biti utočište za hakere. Veštačka inteligencija podiže sajber bezbednost na veće nivoe koristeći algoritme dubokog učenja primenjene na analizi ponašanja za otkrivanje neuobičajenih radnji i upotrebom robota lovaca (AI alati koji neprestano traže pretnje i uče iz njih). Naravno, ovde treba istaći i blockchain tehnologiju kao glavni alat u sajber zaštiti podataka korisnika.

Blockchain je baza podataka koja se ne nalazi na jednom mestu, već je čine manje baze (blokovi) koje su međusobno digitalno povezani, a koji sadrže informacije o digitalnim transakcijama bilo koje vrste: od vlasničkih listova, preko podataka iz knjige rođenih, do ugovora kojim se regulišu autorska prava [7]. Prilikom njihove razmene nema nikakvog regulatora osim same mreže koja sadrži informacije o svim transakcijama ikada izvršenim.

Dakle, za razliku od klasične online baze podataka, blockchain tehnologija omogućava komunikaciju s nekoliko računara (servera) između kojih se transakcija odvija.

Bezbednost oblačne infrastructure postiže se određenim merama:

- Pouzdano upravljanje pristupom ključ je za obezbeđenje okruženja korisnika u oblaku. Princip najmanje privilegija je vodeći princip, koji obezbeđuje minimalni nivo pristupa potreban za svakog korisnika ili aplikaciju.
- Potrebno je izvršiti enkripciju podataka u mirovanju i u procesu prenosa da bi se osetljive informacije zaštitile od neovlašćenog pristupa.

Kontinualno praćenje okruženja korisnika u oblaku može pomoći u identifikaciji potencijalnih pretnji i neobičnih aktivnosti. Implementacija sistema potpomognutih veštačkom inteligencijom za otkrivanje upada i analizu pretnji u realnom vremenu.

- Redovne procene ranjivosti mogu da identifikuju potencijalne slabosti u infrastrukturi oblaka. S testovima prodora, mogu se simulirati napadi u stvarnom svetu i proceniti sposobnost organizacije da se odbrani od njih.
- AI i mašinsko učenje menjaju računarstvo u oblaku poboljšavajući efikasnost, skalabilnost i performanse. Oni doprinose poboljšanju operacija kroz prediktivnu analizu, detekciju anomalija i automatizaciju. Međutim, sve veća prisutnost i dostupnost takvih alata takođe izlaže usluge u oblaku širem spektru rizika.
- AI će drastično transformisati bezbednost u oblaku, uvodeći novu generaciju inteligentnih rešenja koja mogu autonomno da analiziraju velike količine podataka kako bi otkrile i sprečile pretnje u realnom vremenu.

7. Zaključak

Primarni cilj implementacije pametnih tehnologija upravljanja vodama je optimizacija rada sistema, a ne oslanjanje samo na kapitalna poboljšanja. Na osnovu tekućih investicija u tehnologije akvizicije, arhiviranja i obrade podataka u realnom vremenu i raznih telemetrijskih sistema inteligentni vodovodni sistemi mogu proširiti rutinsko modeliranje mreže na mogućnosti projektovanja i planiranja za različite programe reagovanja na havarije i održavanje, daljinsko otkrivanje curenja,

ukupnu optimizaciju potrošnje energije, predviđanje prekida cevovoda, smanjenje emisije ugljen dioksida i efikasnije upravljanje kvalitetom vode. Performanse sistema za distribuciju vode i vodosnabdevanja se najbolje mogu proceniti kroz metode praćenja i simulacije u realnom vremenu koje signaliziraju potencijalne kvarove dovoljno rano da bi operaterima obezbedili vreme da efikasno reaguju i minimiziraju ekonomske posledice i zdravstvene rizike.

Pametne vodovodne mreže igraju važnu ulogu u sprovođenju kontinualnog praćenja sistema, lociranju područja s nedovoljnim kapacitetom, evaluaciji različitih pristupa rešavanju problema i kvarova, pokretanju programa kontrole u slučaju kritičnih havarija, optimizaciji vremena odziva i efikasnosti kriznih mera, kao i u uspostavljanju adekvatnih osnova za merenje i poboljšanje performansi sistema.

Na osnovu ulaganja u sisteme za akviziciju, arhiviranje i obradu podataka u realnom vremenu i različitih telemetrijskih sistema, pametne mreže proširuju rutinsko modeliranje na mogućnosti planiranja i preduzimanja mera za hitne slučajeve i održavanje, daljinsko otkrivanje curenja, predviđanje prekida cevovoda, ukupnu optimizaciju potrošnja energije, smanjenje ugljen dioksida i efikasnije upravljanje kvalitetom vode.

8. Literatura

- [1] Stankov S, Sistem nadzora i upravljanja postrojenjem za prečišćavanje vode, časopis *Vodoprivreda*, broj 4-6, vol. 50, str. 319-332, Srpsko društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje, Beograd, 2018.
- [2] Stankov S, Water Purification in the Process Industry, *Trideset sedmi međunarodni kongres o procesnoj industriji PROCESING 24*, Beograd, 29-31 maj, zbornik radova, str. 121-140, DOI: 10.24094/ptk.024.121, Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera Srbije, SMEITS, Društvo za procesnu tehniku Beograd, 2024.
- [3] Stankov S, Antić D, Petronijević M., Danković N, Automatizacija vodozahvata i mehaničkog prečišćavanja vode u fabrici vode „Mediana 2“, časopis *Procesna tehnika*, broj 2, decembar, godina 30, str. 18-22, Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera Srbije (SMEITS), Beograd, 2018.
- [4] Stankov S, Big Data in Water Supply and Sewerage System, journal *Acta Technica Corviniensis–Bulletin of Engineering*, Tome XV, Fascicule 1 [January – March], pp. 21-25, University Politehnica Timisoara, Faculty of Engineering Hunedoara, Romania, 2022.
- [5] Stankov S, Razvoj upravljačko nadzornih sistema – izazovi i tendencije, časopis *Bakar*, vol. 46, No. 2, str. 43-56, Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor, 2021.

- [6] Stankov S, Control of Pumping Stations in Water Supply Systems, časopis *Voda i sanitarna tehnika*, godina XLI, br. 3-4, juni–septembar, str. 47-54, Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo Beograd, 2011.
- [7] Stankov S Security and protection of supervisory control systems in light of industry 4.0, *19th International Conference Man and Working Environment - Occupational and Environmental Safety Engineering & Management*, Proceedings, pp. 299-306, Faculty of Occupational Safety, Niš, November, 24-25. 2022.

KOMPARATIVNA ANALIZA ALGORITAMA MAŠINSKOG UČENJA ZA PREDVIĐANJE BROJA AKTIVNIH BUNARA U SISTEMIMA VODOSNABDEVANJA

COMPARATIVE ANALYSIS OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR ACTIVE WELL PREDICTION IN WATER WORKS

OGNJEN IVIĆ¹

Originalni naučni rad
DOI: 10.5937/VIK24503I

Rezime: Specifičan domen ovog rada je predviđanje operativnih parametara u upravljanju vodosnabdevanjem, a fokus je na predviđanju neophodnog broja aktivnih bunara. Efikasno upravljanje brojem aktivnih bunara je ključno za optimizaciju resursa i održavanje stabilnosti u snabdevanju vodom, posebno u sistemima sa promenljivim potrošačkim zahtevima i sezonskim varijacijama. Ovaj rad istražuje primenu dva različita algoritma mašinskog učenja, K-Nearest Neighbors (KNN) i Decision Tree Regressor, za predviđanje broja aktivnih bunara na osnovu istorijskih podataka samog izvorišta. Performanse oba modela su ocenjene korišćenjem Mean Squared Error (MSE), Root Mean Squared Error (RMSE) i R-squared (R^2) metrika. Cilj rada je poređenje efikasnosti i tačnosti ovih algoritama u specifičnom domenu.

Ključne reči: vodosnabdevanje, mašinsko učenje, K-Nearest Neighbors (KNN), Decision Tree Regressor

Abstract: The specific domain of this study is the prediction of operational parameters in water supply management, with a focus on predicting the necessary number of active wells. Efficient management of the number of active wells is crucial for resource optimization and maintaining stability in water supply, especially in systems with variable consumer demands and seasonal variations. This study explores the application of two different machine learning algorithms, K-Nearest Neighbors (KNN) and Decision Tree Regressor, for predicting the number of active wells based on historical data from the water source. The performance of both models is evaluated using Mean Squared Error (MSE), Root Mean Squared Error

¹ Ognjen Ivić, JKP „Vodovod i kanalizacija“ Subotica, Trg Lazara Nešića 9/a, Subotica, ognjen@vodovodsu.rs, ORCID: 0009-0005-3005-512X

(RMSE), and R-squared (R^2) metrics. The aim of the study is to compare the effectiveness and accuracy of these algorithms in the specific domain.

Key Words: water supply, machine learning, K-Nearest Neighbors (KNN), Decision Tree Regressor

1. Uvod

Mašinsko učenje sve više pronalazi primenu u različitim domenima, uključujući optimizaciju i predviđanje u sistemima vodosnabdevanja. Efikasno predviđanje broja aktivnih bunara može značajno unaprediti upravljanje resursima i operativnu efikasnost sistema. U ovom radu upoređene su performanse dva popularna algoritma mašinskog učenja: K-nearest neighbors (KNN) i Decision Tree Regressor, za predviđanje neophodnog broja aktivnih bunara. Cilj je izvršiti komparativnu analizu ova dva modela, razmotriti njihove karakteristike, način učenja, tačnost predviđanja i efikasnost predviđanja u realnom vremenu.

Vodosnabdevanje grada Subotice se vrši sa dva izvorišta Vodozahvat 1 i Vodozahvat 2, odakle se voda eksploatiše, odnosno zahvata, vrši se prerada i potiskuje putem crpne stanice u sistem distributivne mreže. U ovom primeru biće obrađeni samo podaci dobijeni od zapisa sa „SCADE“ tokom skoro 2 godine (01.01.2023-12.08.2024, izostavljeni su datumi sa lošim zapisima) za svaki bunar pojedinačno, a podaci koji će se koristiti su podaci dobijeni samo sa Vodozahvata 1. Analiziran je broj aktivnih bunara u odnosu na zbirni protok sa bunarskog polja. Bunarsko polje raspolaže sa oko 27 aktivnih bunara, u okviru kojih se (svake sekunde) vrši zapis protoka, nivoa, pritiska i drugih parametara.

Analizirani su protoci Q (l/s) sa bunara i broja bunara koji su radili u tom trenutku, koji zavise od različitih faktora, kao što su potrošnja vode, pritisak u mreži, stanje infrastrukture, havarije i defekti, sezonske promene i drugo. Precizno predviđanje broja aktivnih bunara u odnosu na zadati protok, omogućava efikasnije planiranje i smanjenje operativnih troškova kao i racionalnije zahvatanje vode. Za vodosnabdevanje se ne koriste istovremeno svi bunari već se koriste po utvrđenom redu tako da se svi objekti koriste i drže u „formi“.

Algoritam koji je napisan koristi podatke koje sadrže istorijske zapise o protoku (Q l/s) sirove vode i broju aktivnih bunara (n), na osnovu kojih se „treniraju“ i ocenjuju modeli. Broj istorijskih zapisa koji su korišćeni su oko 500 podataka (svaki zapis predstavlja jedan dan 24 sata – 86.400 merenja). Algoritam koji je korišćen za potrebe učenja, evaluacije i predviđanja konstruisan je od strane autora, korišćenjem programa Python i korišćene su određene biblioteke za treniranje modela mašinskog učenja. Neke od ključnih biblioteka jesu: „pandas“, „numpy“, „scikit-learn“, „matplotlib“ i „joblib“.

2. Algoritmi mašinskog učenja

K-nearest neighbors (KNN) je jedan od najjednostavnijih algoritama za mašinsko učenje. Radi po principu traženja najbližih tačaka u skupu podataka (najbližih okolnih skupova) kako bi napravio predviđanje. Kada se koristi za regresiju, KNN predviđa vrednost na osnovu prosečne vrednosti skupa u odnosu na najbliži ulazni podatak odnosno vrednost. To je model sa nadzorom, koji ne pravi pretpostavke o distribuciji podataka, relativno je „lenj“ algoritam koji se oslanja na celokupan „trening“ skup za donošenje odluka. To znači da model ne uči eksplicitne parametre tokom obuke, već čuva „trening“ podatke i koristi ih direktno za predviđanje na osnovu udaljenosti između uzoraka kako bi klasifikovao novi uzorak. U ovom slučaju, kada koristimo samo jedan atribut, izlazni protok vode sa bunarskog polja, (-, „Izlazni_protok_sa_vz1.Qizl“), udaljenost između dva uzorka je jednostavna apsolutna razlika između njihovih vrednosti. Najčešće korišćen proračun za udaljenost je Evklidovska udaljenost [6].

Za dva uzorka X_1 i X_2 , Evklidovska udaljenost se računa kao: $d(X_1, X_2) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - x_{2i})^2}$, gde je n broj atributa (dimenzija). Nakon što izračuna udaljenosti između novog uzorka i svih uzoraka iz „trening“ skupa, KNN bira k najbližih susednih tačaka. U ovom primeru to je $k=5$, što znači da se uzimaju pet najbližih uzoraka. Iz svakog fajla koji služi kao istorijski podatak, koristi vrednosti iz kolone za ukupan protok kao ulazne karakteristike (Q l/s - features) da bi predvideo koliko bunara je aktivno bilo u tom trenutku (n - features).

Algoritam se mogao napisati tako da koristi jednostavni proračun tačnosti baziran na relativnoj toleranciji ($rtol=0.1$), koja proverava koliko su predviđene vrednosti blizu stvarnim vrednostima unutar određenog procenta (10% u ovom slučaju). Ako je predviđena vrednost unutar 10% od stvarne vrednosti, smatra se da je predviđanje tačno, ali za preciznije predviđanje i za dobijanje naprednijeg modela korišćeno je za ocenu performansi kriterijum greške kao što su MSE (Mean Squared Error), RMSE (Root Mean Squared Error) i R^2 (koeficijent determinacije). [3].

Decision Tree Regressor ili odlučujuće stablo, ovaj algoritam se bavi procenom broja aktivnih bunara koristeći model mašinskog učenja u vidu odlučujućeg stabla za regresiju koji se često koristi za predviđanje kontinuiranih vrednosti. Odlučujuće stablo pravi odluke kroz seriju pitanja na osnovu atributa podataka, što omogućava donošenje odluka bez potrebe za naprednim matematičkim formulama.

Postavljaju se karakteristike (feature set) „x“ koje uključuju kolonu vreme *Time* i *Ukupan_protok.Qsuma_1* kao ulazne varijable za model. DTR se koristi za predviđanje vrednosti broja aktivnih bunara koristeći kolonu *Broj_bunara_u_radu* (broj aktivnih bunara) na osnovu karakteristika u „x“. Evaluacija modela takođe koristi standardne proračune greške za regresiju, kao što su MAE, MSE, i R^2 Score.

Kod MAE i MSE, niže vrednosti ukazuju na bolji model. Idealno, MAE i MSE bi trebali biti što manji, a za R^2 visoka vrednost (bliža 1) ukazuje da model dobro objašnjava varijaciju u podacima. Na osnovu istorijskih podataka, karakteristike „x“ predstavljaju ulazne podatke za sam model, dok su ciljevi „y“, broj aktivnih bunara. Model koristi podatke za kreiranje stabla koje deli podatke u različite grane na osnovu odluka koje maksimizuju razlike u ciljevima između grana. Na svakom čvoru stabla, model postavlja pitanje o karakteristikama (vreme i protok) kako bi se odlučilo koja grana treba da se prati. Ove odluke su bazirane na merama kao što su Gini indeks, entropija (u slučaju klasifikacije) ili varijanse (u slučaju regresije). U samom algoritmu, model odlučujućeg stabla za regresiju koristi varijansu kao meru za odluke o granama koje treba pratiti. Varijansa se koristi da bi se odredilo koliko su podaci „raspršeni“ u određenim čvorovima. Manja varijansa ukazuje na to da su predviđanja u tom čvoru bliža stvarnim vrednostima, što je poželjno [5].

Varijansa se izračunava kao: $V = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2$, gde je y_i stvarna vrednost za uzorak i , \bar{y} srednja vrednost svih stvarnih vrednosti u čvoru, a N broj uzoraka u čvoru. Početni čvor sadrži sve uzorke podataka, izračunava se varijansa ciljne vrednosti (broj bunara) za sve uzorke u ovom čvoru. Model razmatra sve moguće granice koje se mogu postaviti na osnovu vrednosti karakteristika za vreme i protok. Deljenje čvora, gde se podaci dele u dva nova čvora na osnovu granica, zatim se izračunava varijansa za nova dva čvora, i bira najbolja granica.

Odabir granice koja najbolje smanjuje varijansu, se radi na osnovu smanjenja varijanse, a koristeći formulu smanjenje varijanse: $S_V = v_{PRE} - \left(\frac{N_L}{N} v_L + \frac{N_R}{N} v_R \right)$, gde je V_{pre} varijansa pre deljenja, V_L i V_R su varijanse u leve i desne grane nakon deljenja, N_L i N_R su broj uzoraka u levoj i desnoj grani nakon deljenja, a N je ukupan broj uzoraka pre deljenja. Ovaj postupak se ponavlja za svaku novu granu dok se ne postignu kriterijumi za zaustavljanje (npr. minimalna dubina stabla ili minimalni broj uzoraka u čvoru). U ovom modelu odlučujućeg stabla za regresiju, odluke o tome koje grane treba pratiti bazirane su na smanjenju varijanse. Smanjenje varijanse omogućava modelu da kreira predviđanja koje su što preciznije i koje bolje objašnjavaju stvarne ciljne vrednosti broja aktivnih bunara. Varijansa se koristi kao mera za izbor najboljih odluka i deljenje podataka unutar stabla [4].

3. Usporedna komparativna analiza modela

KNN (K-nearest Neighbors) – osnovni princip je instancijski model, pripadajuć, koji se oslanja na pristup „sličnosti“ za predviđanje. U osnovi, model analizira sve obučene podatke i identifikuje K najbližih tačaka prema matrici udaljenosti (Euklidskoj). Za regresiju, KNN koristi srednju vrednost ili ponderisanu srednju vrednost izlaza najbližih K tačaka. Obuka KNN-a je relativno brza jer se sastoji samo

u skladištenju obučavajućih podataka, nema posebne faze obuke gde se model parametarski podešava. Decision Tree Regressor je model koji pravi odluke bazirane na vrednostima atributa u stablu odluka. Obuka Decision Tree uključuje konstrukciju stabla donošenja odluka kroz proces deljenja podataka na osnovu atributa koji najbolje razdvaja podatke u različite grupe. Ovo se radi pomoću kriterijuma poput varijanse ili entropije za regresiju. KNN i DTR (Decision Tree Regressor) su različiti u svojoj prirodi i pristupima obuci. KNN je jednostavan, fleksibilan i neparametarski, dok je Decision Tree Regresor parametarski i koristi pravila odlučivanja koja mogu biti lakše interpretirana. Izbor između njih zavisi od specifičnih zahteva problema, veličine i prirode podataka, kao i od željenih karakteristika modela.

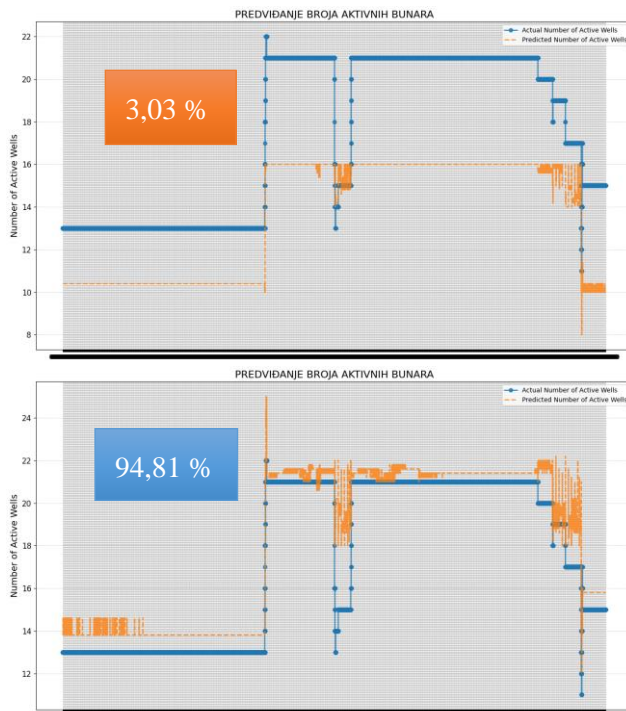
Ako su odnosi između protoka i broja aktivnih bunara jednostavni i linearni, KNN može biti dobra opcija, posebno ako su podaci čisti i nema previše problema sa „šumom“. Šum u podacima odnosi se na nepravilnosti koje se javljaju u podacima zbog različitih faktora. KNN je jednostavan za implementaciju i može raditi dobro sa malim do srednjim veličinama podataka. Ako su odnosi nelinearni i kompleksni, Decision Tree Regressor može biti bolji izbor jer može da obuhvati složene odnose i pruži interpretaciju kroz pravila odlučivanja. Takođe, može biti korisno koristiti tehnike za obuku stabla kako bi se sprečilo prekomerno obučavanje, kao što su ograničavanje dubine stabla ili korišćenje ensemble metoda kao što je Random Forest.

4. Rezultati korišćenja KNN i DTR modela

Python algoritam koji je napisan za ocenu performansi KNN modela (K-nearest Neighbors), trenira se na skupu istorijskih podataka oko 525 fajlova, odnosno dana (svaki fajl je jedan dan i poseduje oko 86.400 zapisa o protoku i broju aktivnih bunara, ukupno oko 45 miliona zapisa). Zatim se vrši prikupljanje karakteristika i ciljne promenljive, „x“ koja sadrži protok i „y“ koja sadrži ciljnu promenljivu, podaci se dele na obučavanje i testiranje, gde za trening model KNN koristi 5 najbližih susdenih tačaka. Model predviđa vrednosti za testiranje, izračunavaju se performanse modela i čuva najbolji model od svih modela prema željenom kriterijumu MSE, RMSE ili R^2 , gde se na kraju dobija model odnosno datum sa najboljim performansama. Tokom evaluacije i inicijalizacije proveravaju se podaci koji se nalaze u samim fajlovima, filtriraju se na neragularnost („NaN“).

Izvršeno je testiranje, proračun, a kao rezultat dobijen je model sa datumom 26.04.2024. najbolji u pogledu MSE i RMSE kriterijuma (sa ocenom performansi od 0.003 i 0.0612), a model u pogledu R^2 kriterijuma najbolji je bio dana 05.08.2023 sa ocenom performansi od 0.9998. Zatim se za predviđanje broja aktivnih bunara na temelju novih podataka Q (l/s) protoka, koji nisu viđeni tokom obuke modela, gde je kao primer uzet protok za datum 17.08.2024. To znači da ako se primeni model

za dan 26.04.2024. (MSE, RMSE) i model na dan 05.08.2023. (R^2) i iskoristi za predviđanje broja aktivnih bunara i uporede dobijena predviđanja sa stvarnim realnim, slika 1, dobijaju se sledeći rezultati:

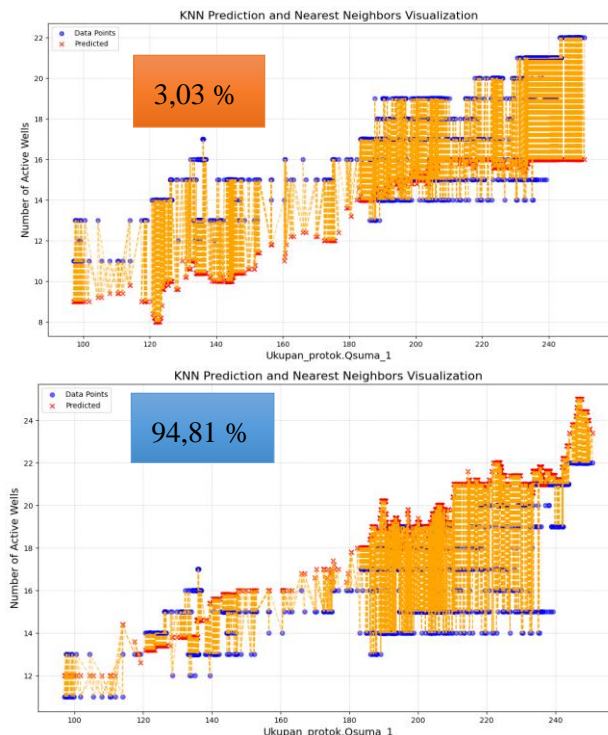


Slika 1. Prikaz rezultata predviđanja i preklapanja broja aktivnih bunara tokom 24 sata, sa 3.03% tačnost predviđanja (MSE i RMSE kriterijum na dan 26.04.2024.), i 94,81% tačnost predviđanja (R^2 kriterijum na dan 05.08.2023.)

Figure 1. Display of prediction results and overlap of the number of active wells over 24 hours, with 3.03% prediction accuracy (MSE and RMSE criteria as of April 26, 2024) and 94,81% prediction accuracy (R^2 criteria as of August 5, 2023).

Različiti kriterijumi za ocenjivanje kao što su MSE i RMSE (3,03%) mere prosečnu kvadratnu grešku predviđanja i stvarnih vrednosti, što može biti osetljivo na velike greške, odnosno da je moguće da je prilikom izrade modela došlo do grešaka na nekoliko tačaka. Dok R^2 (94,81%) može pokazivati bolji opšti trend, jer meri koliko varijabilnosti u zavisnoj varijabli objašnjavaju model, i može biti korisnije za ocenu modela kada se procenjuju generalni šabloni i odnosi u podacima. Predstavljanje predviđanja i načina na koji KNN mašinsko učenje vrši predviđanje korišćenjem modela za gore navedene datume, 26.04.2024. i 05.08.2023, moguće je prikazati u vidu linjskog dijagrama.

Na dijagramu plave tačke predstavljaju stvarne podatke, crveni markeri koji predstavljaju predviđanja, a isprekidane linije predstavljaju linije koje povezuju tačke predviđanja sa najbližim susedom odnosno tačkama u prostoru podataka slika 2.



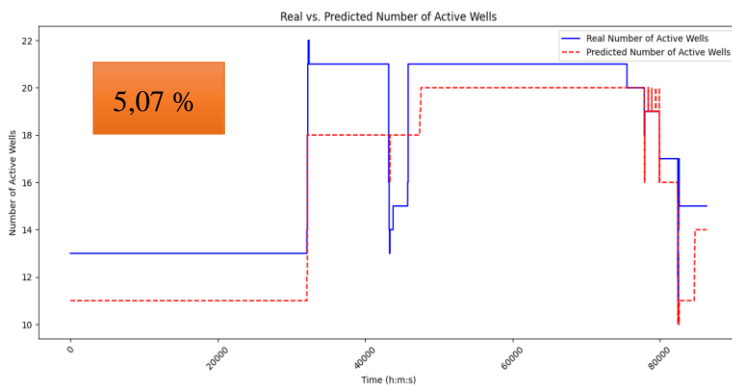
Slika 2 Vizuelni prikaz učenja i testiranja KNN modela

Figure 2. Visual representation of training and testing a KNN model

Kako bi mogli steći bolju sliku o tome kako bi svi modeli predvideli broj aktivnih bunara, od svih naučenih modela 524 modela (jedan dan je imao grešku „NaN“ vrednosti) korišćenu su za predviđanje broja bunara na primeru protoka na dan 17.08.2024. Kao rezultat toga, tačnost predviđanja je sledeća (za proveru tačnost modela korišćen je metod preklapanja jer je bolji pokazatelj koliko su predviđanja blizu stvarnim): tačnost predviđanja od 0-25% - 194 modela, tačnost od 25-50% - 146 modela, tačnost od 50-75% -102 modela, a oko 82 modela mogu da predvide broj bunara sa tačnošću od 75-100%. Što znači da od svih modela 15,6% (82 od 524 modela) ima tu mogućnost predviđanja sa tačnošću od preko 75%.

Kada je u pitanju DTR (Decision Tree Regressor), isti princip rada algoritma je primenjen, prikupljeni su istorijski podaci oko 524 fajlova, odnosno dana, obrađeno i izvršena je evaluacija koristeći ponovo MSE, RMSE i R2 kriterijume. Kako bi se

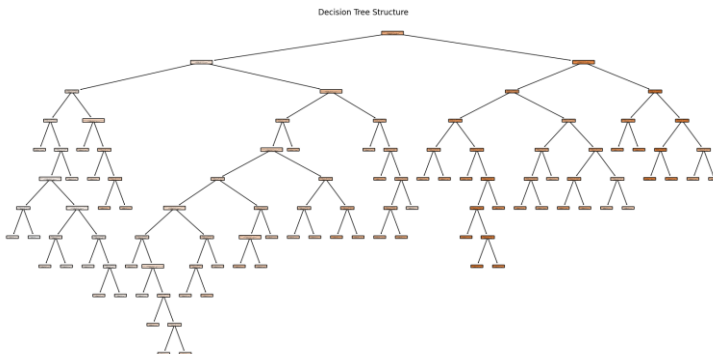
od svih raspoloživih modela, odabrali samo modeli sa najboljim performansama odnosno kriterijuma, odabran je model sa datumom 09.05.2023., sa rezultatima MSE=0,001, RMSE=0,0108 i $R^2=1$. Ovako niske vrednosti gotovo savršene, može ukazati na prilagođenost, pogotovo ako podaci imaju šum ili su složeni. Koristeći ovaj model za isti datum na primeru protoka (dan 17.08.2024) utvrđeno je da je procenat preklapanja dosta loš svega 5,07% za sva tri kriterijuma. Kako bi se stekla bolja slika o tome kako DTR modeli predviđaju broj bunara na osnovu svih kreiranih modela, dobijeni su sledeći rezultati: sa tačnošću preklapanja od 0-25% - 403 modela, sa tačnošću od 25-50%-104 modela, od 50-75%-14 modela, a svega 3 modela ima tačnost predviđanja od preko 75-100%. Što znači da od svih modela svega 0,6% (3 modela) ima tu mogućnost predviđanja sa tačnošću preko 75%, slika 3 (plava boja prave vrednosti broja bunara, a crvenom bojom predviđeni broj). Preprilagođavanje se dešava kada model uhvati čak i najsitniji šum i detalj, zbog toga se treba uvesti „kros-validacija“ kako bi se uverili da model dobro generalizuje na neviđene podatke [1].



Slika 3. Linijski dijagram preklapanja predviđenog i stvarnog broja bunara – procenat preklapanja (5,07%)

Figure 3. Line diagram showing the overlap between the predicted and actual number of wells – percentage of overlap (5.07%)

Na osnovu analize raspoloživih podataka, može se zaključiti sledeće, da je korišćenjem mašinskog učenja Decision Tree, predviđanja korišćenjem najboljeg modela sa kriterijumom performansi R^2 za svih 524 dana: broj dana sa tačnošću predviđanja od 0-25% je 397 dana, od 25-50% tačnost predviđanja ima čak 107 dana, od 50-75% svega 17 dana, a najmanja tačnost je bila za tačnost 75-100% svega 3 dana. Što znači da prilikom mašinskog učenja i izrade modela, podaci su imali određene nepravilnosti i veliki broj šumova, pa je zato model imao slabije performanse. Prikaz strukture stabla, uključujući čvorove, grane i listove prikazano je na slici 4, kako je model doneo odluke na osnovu ulaznih podataka.

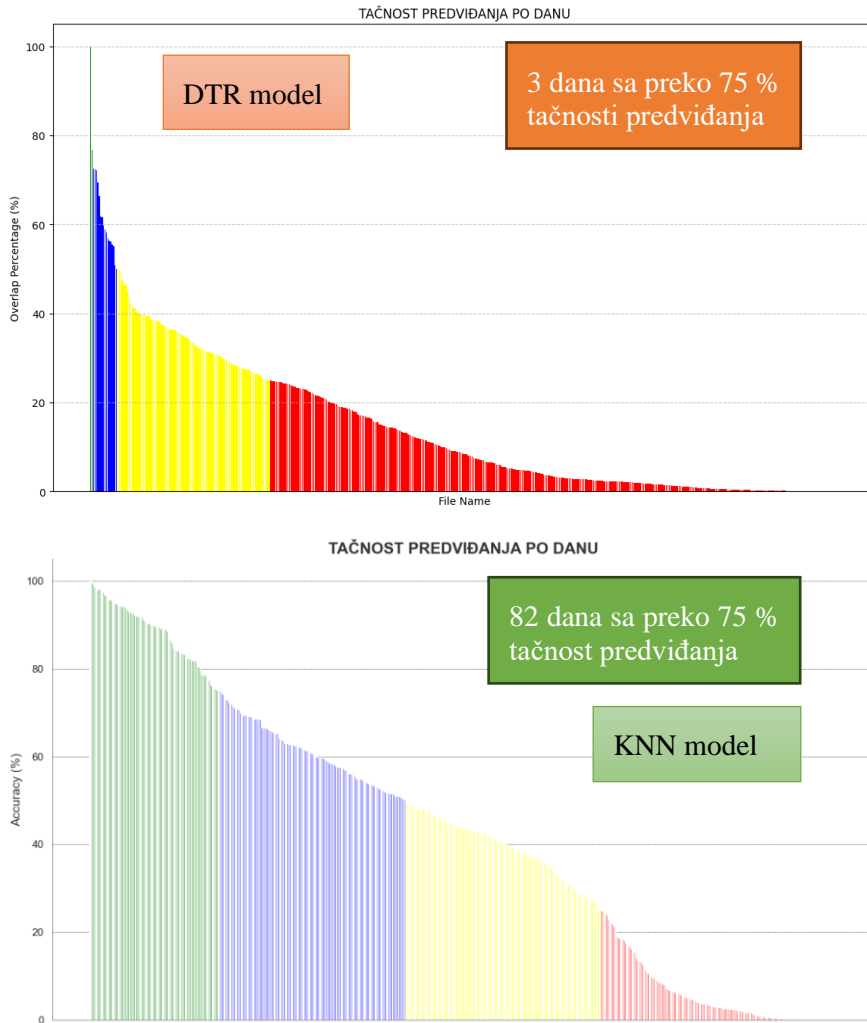


Slika 4. Vizuelni prikaz učenja i testiranja najboljeg Decision Tree modela
Figure 4. Visual representation of training and testing for the best Decision Tree model

5. Zaključak

Ako se uporede obe metode mašinskog učenja Decision Tree i KNN svaka ima svoje prednosti i mane. Decision Tree je relativno lak za interpretaciju, jer predstavlja odluke u obliku stabla, ali može biti previše osetljiv na šum u podacima, što može dovesti do preteranog prilagođavanja modela sa podacima. Kada je KNN u pitanju, on je otporniji na šum u podacima, jer zasniva se na predviđanja na sličnostima sa najbližim susedom. Obzirom da se radi o istorijskim podacima, koji imaju tragove šuma, tokom provere i tokom performansi modela može se zaključiti da je KNN bolji izbor mašinskog učenja za pravljenje modela, ako se podesi broj suseda („k“ npr. 5). KNN ima tendenciju da smanji uticaj šuma putem agregacije rezultata iz susednih tačaka. Ukoliko bi se ovi istorijski podaci mogli kontrolisati ili se podaci mogu dodatno prečistiti i uvođenjem npr. „kros-validacije“, tada bi mogli imati bolje performanse predviđanja (od 80-100% preklapanja). Obzirom da je reč o manipulaciji radom bunara od strane operatera procesa proizvodnje vode, odnosno čoveka, on može dosta otežati predviđanje, jer može uticati na nezakonitost ili pojavu šuma u podacima. Ljudski faktor ima značajan uticaj na rad bunara, pa bi trebalo razmotriti mogućnost uključivanje dodatnih karakteristika koje mogu uhvatiti informacije ili koristiti naprednije modele koji mogu bolje da generalizuju u takvim situacijama [7].

Kako bi se bolje prikazali rezultati predviđanja oba modela, za model KNN i Decision Tree uzet je model sa najboljim R^2 kriterijumom i predviđajući broj aktivnih bunara, za svaki dan pojedinačno. Ovo je urađeno sa ciljem da se vidi u kom procentu i sa kojom tačnošću bi modeli predvideli broj aktivnih bunara tokom perioda od 524 dana, slika 5.



Slika 5. Rezultati predviđanja korišćenjem najboljeg R^2 modela na svim istorijskim podacima (dana 524)

Figure 5. Prediction results using the best R^2 model on all historical data (524 days)

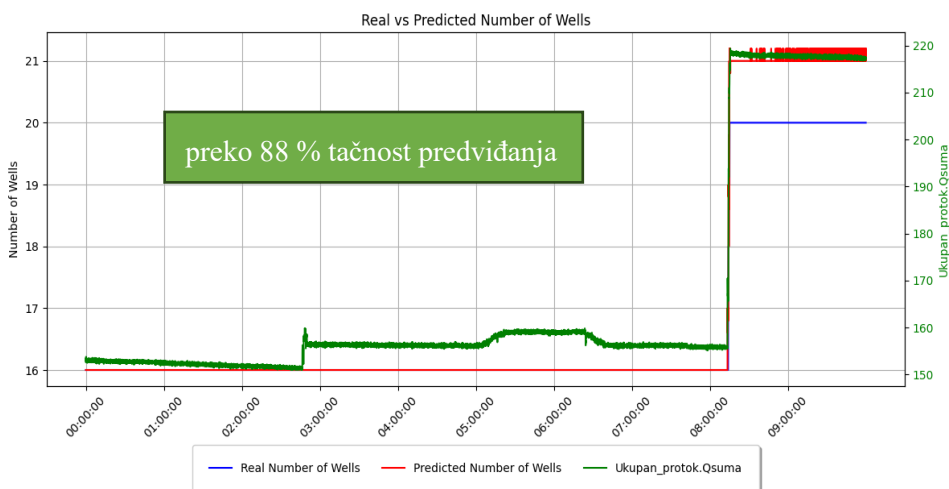
KNN model može biti koristan alat za predviđanje broja bunara i optimizaciju upravljanja vodom, ali uspeh zavisi od kvaliteta podataka, broja dostupnih podataka, i pažljivog podešavanja modela. Korišćenje podataka u realnom vremenu (kumulativni protok sa bunarskog polja) za predviđanje broja bunara omogućava dinamičko i proaktivno upravljanje sistemom za snabdevanje vodom. To može

poboljšati efikasnost, smanjiti troškove, povećati pouzdanost, i omogućiti bržu reakciju na promene i probleme. Ova proaktivna i adaptivna strategija može značajno doprineti stabilnosti i efikasnosti sistema za proizvodnju vode. Ako je potrebno koristiti veći broj bunara za postizanje istog kapaciteta, a modeli pokazuju loša predviđanja, to može značiti da se kapacitet pojedinih bunara smanjuje. Preporučuje se redovno ažuriranje modela i analiza stanja bunara kako bi se preciznije predviđao broj bunara potreban za određeni protok.

Takođe, važno je pratiti promene u kapacitetu bunara i koristiti te informacije za poboljšanje tačnosti modela. Velika odstupanja između predviđanja i stvarnih vrednosti mogu biti indikator da model ispravno prepoznaje potrebu za većim brojem bunara, dok stvarni kapacitet bunara opada. U tom slučaju, potrebno je ažurirati model i uzeti u obzir promene u kapacitetu bunara kako bi se poboljšala tačnost predviđanja i optimizovala upravljanja resursima [2].

U svakom slučaju, implementacija modela može doprineti poboljšanju efikasnosti i smanjenju troškova u proizvodnji vode. Primer prikaza rezultata korišćenjem najboljeg KNN modela, sa greskom R^2 , prikazano je na slici 6.

Na tom dijagramu predviđa se broj bunara na osnovu podataka u trenutku na dan 22.08.2024. (od 00:00-9:30 sati), i predviđa se broj aktivnih bunara u odnosu na realan broj bunara u trenutku (plavom linijom realan broj bunara, crvenom bojom predviđen broj bunara, a zelenom bojom kretanje protoka Q (l/s).



Slika 6. Rezultati predviđanja u realnom vremenu korišćenjem najboljeg R^2 KNN modela – tačnost predviđanja 88,30%

Figure 6. Prediction results in real time using the best R^2 KNN model – prediction accuracy: 88.30%

6. Literatura

- [1] Donghyun Kim, Sijung Choi, Sungkyu i Kuiseong Noh. Studija o razvoju modela predviđanja i klasifikacije potrebe za vodom na osnovu veštačke inteligencije za stanicu za prijem vode u Guryeu, MDPI (online), *Water* 2023, 15(23), 4160, 2023.
- [2] Isha Bansal. K-Nearest Neighbors (KNN) in Python. Posećeno dana : 04.08.2024. Preuzeto sa: <https://www.digitalocean.com/community/tutorials/k-nearest-neighbors-knn-in-python>, 2022.
- [3] Jovanović Jelena *Mašinsko učenje*. Posećeno dana: 10.08.2024. https://ai.fon.bg.ac.rs/wp-content/uploads/2016/10/ML_intro_2016.pdf, 2020.
- [4] Jocović Vladimir, *Inteligentni sistemi*. Posećeno dana : 09.08.2024. http://ri4es.etf.rs/materijali/vezbe/IS_Masinsko_ucenje.pdf, 2023.
- [5] Nihal Desai & Vatsal Patel (2021) Linear Decision Tree Regressor: Decision Tree Regressor Combined with Linear Regressor. Posećeno dana: 10.08.2024. Preuzeto sa: https://www.researchgate.net/publication/353546682_Linear_-Decision_-Tree_Regressor_Decision_Tree_Regressor_Combined_with_Linear_Regressor, 2021.
- [6] Pranay Rishith, *Understanding K-Nearest Neighbors: A simple approach to classification and regression*. Posećeno dana: 12.08.2024. Preuzeto sa: <https://towardsai.net/p/l/understanding-k-nearest-neighbors-a-simple-approach-to-classification-and-regression>, 2023.
- [7] Zsolt Nagy, *Osnove veštačke inteligencije i mašinskog učenja*. Beograd, Kompjuter biblioteka, 2019.

УПРАВЉАЊЕ ВОДОВОДНИМ СИСТЕМОМ ГРАДА ПРИЈЕДОРА (ПРОШИРЕЊЕ СИСТЕМА И ИСКУСТВА)

MANAGEMENT OF THE WATER SUPPLY SYSTEM OF THE CITY OF PRIJEDOR (EXTENSION OF THE SYSTEM AND EXPERIENCES)

БОЈАН ЕЋИМ¹

Стручни рад

DOI: 10.5937/VIK24515E

Резиме: Систем водоснабјевања Приједора чине изворишта воде, бунари и резервоари са пумпним станицама и уграђеном савременом електро и хидромашинском опремом, главни транспортни цјевоводи, преко 450 km дистрибутивне мреже у Приједору, Љубији и Козарцу и око 25.000 прикључака, углавном са уграђеним водомјерима. Преко 45 ових основних објеката је повезано оптичким кабловима или неким другим системом и врши се потпуна даљинска контрола, надзор и управљање. Поред овог централног водоводног система, егзистира и Регионални водоводни систем „Црно Врело“ који обухвата сеоска подручја и у заједничком је власништву са Градом Бања Лука. Овај систем у дијелу Града Приједора обухвата 11 села и насеља са дужином око 360 km и 4.000 прикључака, односно преко 12.000 становника. Канализациони систем је слабије развијен али и он се састоји од више главних колектора, препумпне станице и мреже укупне дужине од око 200 km. Поводом 18. годишњице од покретања централизованог управљања водоводним објектима путем SCADA система у приједорском Водоводу, желимо да прикажемо позитивне и негативне стране система и радове на побољшању његових карактеристика и функционалности.

Кључне ријечи: SCADA систем, PLC, водоводни систем, надзор и управљање

Abstract: Prijedor's water supply system consists of water sources, wells and reservoirs with pumping stations and installed modern electrical and hydromechanical equipment, main transport pipelines, over 450 km of distribution network in Prijedor, Ljubija and Kozarac and about 25,000 connections, mostly with installed water meters. Over 45 of these basic facilities are connected by optical cables or some other system and are fully remote controlled, monitored and managed. In addition to this central water supply system, there is also the Regional water supply system „Crno Vrelo“, which includes rural areas and is jointly owned

¹ Бојан Ећим, „Водовод“ а.д. Приједор, Козарска 87, Приједор, b.ecim@vodovod-pd.com, ORCID 0009-0007-7823-2345

by the City of Banja Luka. This system in the part of the City of Prijedor includes 11 villages and settlements with a length of about 360 km and 4,000 connections, i.e. over 12,000 inhabitants. The sewage system is less developed, but it also consists of several main collectors, a pumping station and a network with a total length of about 200 km. On the occasion of the 18th anniversary of the start of the centralized management of water facilities through the SCADA system in Prijedor Vodovod, we want to show the positive and negative sides of the system and the work on improving its features and functionality.

Key Words: SCADA system, PLC, water supply system, monitoring and control

1. Увод

Град Приједор се простире у правцу сјевер – југ 32 km и у правцу исток – запад 46 km, на површини од 834 km². Систем водоснабдјевања опскрбљује око 75.000 становника, односно 75% укупног становништва. Водоводни систем се састоји од централног градског система, којим су обухваћена и насеља Љубија, Козарац и село Доња Драготиња и регионалног система „Црно Врело“. Овако сложени водоводни и канализациони системи намећу обавезу Граду и „Водоводу“ Приједор да стално инвестирају у техничко-технолошка унапређења са циљем да се обезбиједи услови за интегрално управљање овим системима.

Аутоматизација и телеметрија су основни технички предуслови за остварење овог циља. Сталне инвестиције и унапређења у овој области „Водовод“ Приједор проводи већ 18 година и чини велике напоре уз максимално ангажовање да имплементира стратегију интегралног управљања развијајући GIS са свим потребним модулима и повезујући технички и пословни информациони систем. У току је посебна пажња посвећена развоју модула за надзор и управљање губицима формирањем DMA зона и повезивањем система даљинског надзора и SCADA система.

2. Архитектура SCADA система

SCADA систем Приједорског водовода представља дистрибуирани SCADA систем, изграђен на трослојној хијерархији:

- Надзорно-управљачки систем – SCADA центар
- Локални систем аутоматизације и преноса података
- Процесна инструментација

Надзорно-управљачки систем – SCADA центар

Чине га три РС радне станице, свака са по два TV монитора 40“, у контролном центру административне зграде Водовода, на којима су инсталирани SCADA софтвери – Wonderware InTouch v10.1, Unitronics Remote Operator, SIMATIC WinCC Runtime professional и TIA портал. Засебно су постављени

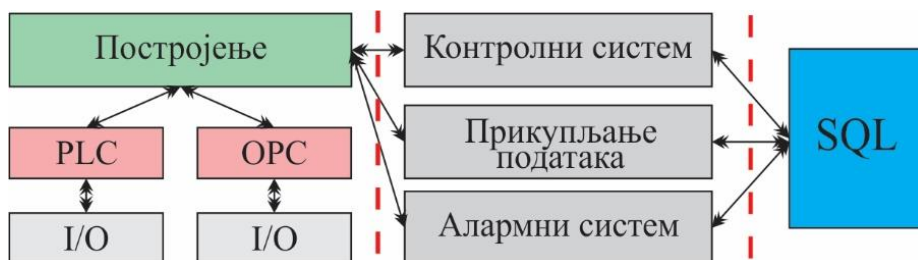
идентични TV монитори за видео надзор објеката и снимање догађаја се врши путем снимача, а снимци се чувају 7 - 10 дана. Карактеристике овог нивоа:

- Изграђеност на TCP/IP архитектури (IT компатибилност),
- Графичка визуелизација процеса у реалном времену (надзор и управљање),
- Дугорочно архивирање података и креирање извјештаја,
- Подржава комуникационе стандарде за повезивање на системе аутоматизације

Локални систем аутоматизације и преноса података

Овај ниво представљају разводни ормари са појединачним компонентама аутоматизације у свим објектима система. Карактеришу га:

- PLC (Programmable Logic Controller), Unitronics и Siemens,
- Регулатори фреквенције/софтстартери, тип: SINUS PENTA/ASA, Santerno и Danfoss,
- Серијска RS485 комуникација између PLC-а и регулатора фреквенције/софтстартера по Модбус протоколу,
- Етернет TCP/IP комуникација (пренос података) са контролним центром
- Оптички линк, IP/MPLS VPN, GPRS комуникација са пратећом опремом (ЗОК медиа конвертор, switch, router.....),
- Енергетске компоненте за напајање.



Слика 1. Шема SCADA система „Водовод“ а.д. Приједор
Figure 1. Scheme of SCADA system „Vodovod“ a.d. Prijedor

Процесна инструментација

Најнижи ниво у хијерархији управљачког система, а чине га сензори и извршни уређаји:

- Електромагнетни мјерач протока, тип: MAG5000/6000 Siemens,
- Хидростатички сензор нивоа,
- Сензор притиска,
- Мјерач мутноће,

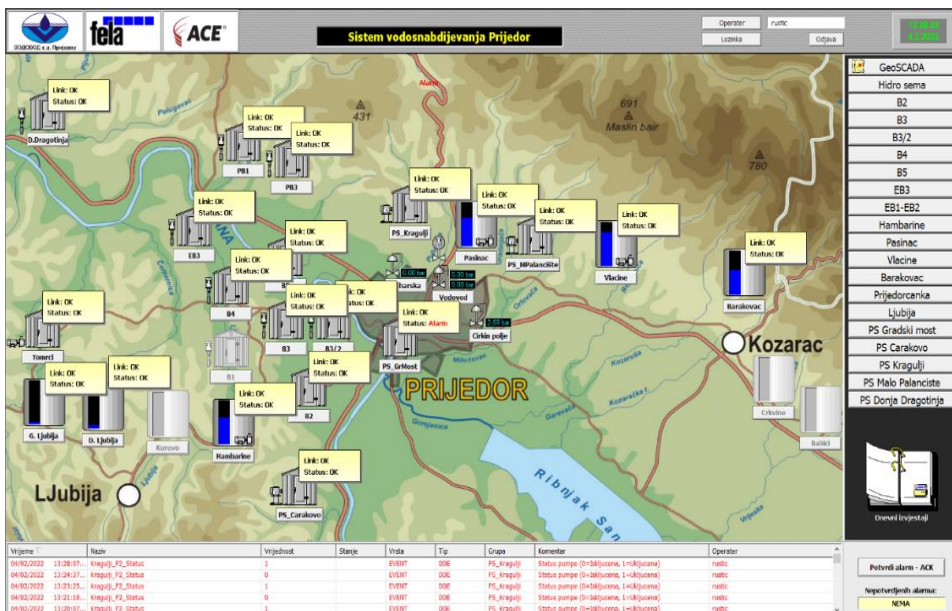
- Вентил са моторним погоном,
- Хлорна станица и сл.

Потребно је посебно нагласити да су објекти повезани оптичким влакнима и налазе се у приватној мрежи, чиме се обезбеђује сигурност од вањских утицаја.

3. SCADA системи у „Водовод“ Приједор

SCADA систем Водовода Града Приједора (централни градски систем, насеља Козарац, Љубија и Доња Драгоћиња) састоји се од:

- PLC уређаја произвођача „Unitronics“ који су на локалном нивоу повезани са сензорима и извршним уређајима,
- Комуникационог система које омогућује пренос података између PLC -ова и SCADA центра: оптички и IP/MPLS VPN пренос,
- Централног рачунара (сервера) - SCADA центар (SCADA Мастер),
- „Unitronics“ апликационих софтвера за PLC-ове и централни рачунар, „Wonderware“ софтвера за подршку комуникационог система и „Unitronics“ софтвера за даљински приступ.



Слика 2. SCADA система „Водовод“ а.д. Приједор
Figure 2. SCADA system „Vodovod“ a.d. Prijedor

SCADA систем „Црно Врело“ састоји се од:

- PLC уређаја произвођача „Siemens“ који су на локалном нивоу повезани са сензорима и извршним уређајима,
- Комуникационог система које омогућује пренос података између PLC -ова и SCADA центра: оптички пренос,
- Централног рачунара (сервера) - SCADA центар (SCADA Мастер),
- „Siemens“ апликационих софтвера за PLC-ове и централни рачунар, „SIMATIC WinCC Runtime professional“ софтвера за подршку комуникационог система и софтвера за даљински приступ.

Дакле постоје два одвојена SCADA система са централизованом тачком приступа и управљања.

4. Испуњени циљеви увођења SCADA система

Смањење трошкова производње

Смањење трошкова производње је остварено на два начина.

Прво, обим радне снаге је смањен за 16 извршилаца, који су са мјеста руковоаца пумпних постројења прераспоређени у технички сектор предузећа.

Друго, са централизованим управљањем рада системом производње, повећан је степен сигурности извршења технолошких процеса.

5. Флексибилност и и могућност проширења система надоградњом

Основни услов приликом планирања SCADA система је био постављање такве конфигурације која омогућује лаку надоградњу због ширења водоводног система и изградње нових објеката.

Код свих физичких и програмских елемената постоји модуларност, а спрега између њих је јасно дефинисана, те смо на тај начин постигли основне услове за постизање ових циљева. Основни услов приликом планирања SCADA система је била његова могућност проширења надоградњом.

6. Поузданост система

Поузданост SCADA система условљена је поузданошћу његових саставних компоненти. Током рада детектовали смо критичне тачке система и оне су скоро у потпуности отклоњене.

- WLAN систем преноса података се показао као нестабилан, несигуран, оптерећен честим кваровима и малом брзином протока података.

Покушали смо у више наврата да са измјеном разних врста антена исправимо недостатке, али безуспјешно, тако да смо на крају изабрали оптички и IP/MPLS VPN систем. Не треба посебно наглашавати да се оптички линк показао најстабилнијим начином преноса података, велике издржљивости и неогранчене брзине протока, са минималним кваровима.

- И поред одговарајуће IP заштите, влага у објектима је проузроковала проблеме на командним и електро ормарима. Све објекте смо додатно опремили вентилацијом и одvlaживачима ваздуха, те смо на овај начин отклонили ове недостатке. Дошли смо до закључка, да је најсигурнији начин, приликом изградње нових објеката, физичко раздвајање управљачког и електро дијела од саме пумпне и хлорне станице.
- Температура у објектима у току љетних мјесеци је проузроковала застоје. Све објекте пумпних станица смо опремили клима уређајима и елиминисали овај недостатак.
- Варирање напона је негативно утицало на рад регулатора фреквенције и софт стартера, па смо у сарадњи са електродистрибуцијом регенерисали трафо станице.
- НН ормаре трафо станица, који су у току поплаве били потопљени, смо измјестили на одговарајућа мјеста.
- У случају непредвиђеног застоја рада у SCADA апликацији, увели смо резервни систем праћења рада система.

7. Перформансе система

Перформансе су дефинисане преко времена одзива и пропусности. Вријеме одзива је смањено јер се главнина обраде врши локално, без потребе за чекањем управљачког сигнала од централне станице.

8. Резервни и контролни системи праћења рада постројења

Да би се осигурали од непредвиђених ситуација, односно застоја и кварова на главном SCADA Мастеру, као резервну опцију праћења рада постројења користимо бесплатан фабрички софтвер - Unitronics Remote Operator: Овај софтвер је инсталиран на одвојеном рачунару и у потпуности је функционалан. Помоћу њега се, по потреби, врши мониторинг и управљање са свим постројењима у реалном времену.

Поред ове РС верзије, користимо и андроид апликацију „Unitronics Remote operator“, која је, такође, у потпуности функционална и омогућава праћење и управљање постројењима путем мобилног телефона или таблета.



Слика 3. Приказ објеката у „Unitronics Remote operator“ апликацији
 Figure 3. Display of objects in the „Unitronics Remote operator“ application



Слика 4. Приказ објеката у „Unitronics Remote operator“ андроид апликацији
 Figure 4. Display of objects in the „Unitronics Remote operator“ android application

9. Закључак

Са задовољством наглашавамо, да су сви циљеви током планирања и изградње SCADA система испуњени. Гледано са ове временске дистанце од 18

година (планирање SCADA система у „Водовод“ а.д. Приједор датира из 2005. године), свака надоградња и проширење су били успјешни и ефикасност рада водоводног система је подигнута на тренутно највиши могући ниво. Оператери су у стању да анализом података добијеним из SCADA система у већини случајева открију кварове на транспортној водоводној мрежи, а у неким случајевима и да предвиде могуће кварове на самим постројењима. На дневном нивоу, свако јутро, техничко особље прегледа и анализира дневне извјештаје са објеката и по потреби уклања евентуалне аномалије система. Потребно је напоменути, иако су објекти потпуно аутоматизовани, да се редовно врши обилазак истих и да се сви елементи система контролишу путем раније утврђених критичних контролних тачака (ККТ) из система НАССР.

10. Литература

- [1] План успостављања SCADA система у ОДКП „Водовод“ интерно, Приједор 2003.
- [2] Идејни пројекат дугорочног водоснабдијевања на подручју Града Приједора, интерно, 2004.
- [3] Пројекат Водоснабдијевања Приједора, Државни секретаријат за Економске Односе SECO Швајцарска, Општина Приједор, 2009.

SUORGANIZATORI



**INSTITUT ZA TEHNOLOGIJU
NUKLEARNIH I DRUGIH MINERALNIH
SIROVINA**

B E O G R A D

ITNMS se bavi fundamentalnim, primenjenim i razvojnim istraživanjima do kompletnih tehničko-tehnoloških rešenja i razvojem i proizvodnjom novih materijala u domenu:

- ▶ tehnologija za pripremu i koncentraciju metaličnih, nemetalčnih i energetskih sirovina,
- ▶ metalurških tehnologija,
- ▶ neorganske hemijske tehnologije,
- ▶ hemijske, elektrohemijske i mehanohemijske sinteze,
- ▶ hemijskog inženjerstva,
- ▶ zaštite i očuvanja životne sredine,
- ▶ hemijska, fizička, fizičko-hemijska, mineraloška ispitivanja,
- ▶ eksperimentalne proizvodnje, i uvođenja novih tehničko-tehnoloških rešenja u industriju.

Bulevar Franša d'Eperea 86, 11000 Beograd, ☎ 390, ☎. (011) 369-17-22,

☎. (011) 369-15-83

<http://www.itnms.ac.rs> - E-mail: itnms@itnms.ac.rs





Универзитет у Нишу
**ГРАЂЕВИНСКО-АРХИТЕКТОНСКИ
ФАКУЛТЕТ**

Александра Медведева 14, 18000 Ниш, Србија www.gaf.ni.ac.rs



ГАФ је део Универзитета у Нишу и представља угледну образовну и научну институцију која образује студенте у области грађевинског инжењерства, архитектуре, урбанистичког планирања и инжењерског менџмента.

ОСНОВНЕ и МАСТЕР АКАДЕМСКЕ СТУДИЈЕ [4+1 година - 240+60 ЕСПБ]

ГРАЂЕВИНАРСТВО

*дипл. инж. грађ.
маст. инж. грађ.*

ИЗБОРНИ МОДУЛИ НАКОН 2. СЕМЕСТРА ОАС:

**КОНСТРУКЦИЈЕ, ХИДРОТЕХНИКА,
САОБРАЋАЈНИЦЕ, ЗГРАДАРСТВО**

ПРИЈЕМНИ ИСПИТ за ОАС: МАТЕМАТИКА или ТЕХНИЧКА МЕХАНИКА или ТЕСТ СКЛОНОСТИ

УПРАВЉАЊЕ ПРОЈЕКТИМА У ГРАДИТЕЉСТВУ

*дипл. инж. менаџм.
маст. инж. менаџм.*

ПРИЈЕМНИ ИСПИТ за ОАС:
МАТЕМАТИКА или ТЕСТ СКЛОНОСТИ

ИНТЕГРИСАНЕ АКАДЕМСКЕ СТУДИЈЕ [5 година - 300 ЕСПБ]

АРХИТЕКТУРА

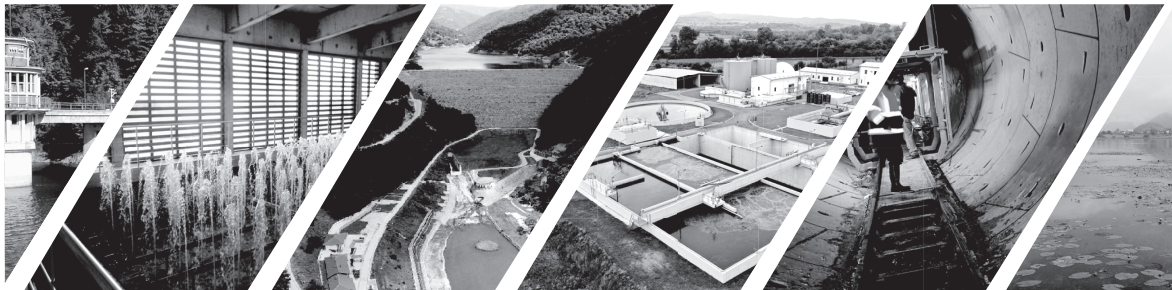
маст. инж. арх.

ПРИЈЕМНИ ИСПИТ за ИАС:
ТЕСТ ОПШТЕ КУЛТУРЕ СА ЕЛЕМЕНТИМА ПРОВЕРЕ
ПРОСТОРНЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ

ДОКТОРСКЕ АКАДЕМСКЕ СТУДИЈЕ [3 године - 180 ЕСПБ]

ГРАЂЕВИНАРСТВО АРХИТЕКТУРА

*доктор наука - грађевинарство
доктор наука - архитектура*



ИНСТИТУТ ЗА ВОДОПРИВРЕДУ
„ЈАРОСЛАВ ЧЕРНИ“

Институт за водопривреду „Јарослав Черни“ А.Д. је водећа научноистраживачка организација у Србији и региону у области вода.

Институт у свом раду користи најсавременије истраживачке и инжењерске методе, напредне технологије и софистициране инструменте.

Са циљем да дугорочно допринесемо општем развоју друштва и унапређењу животне средине у свим областима повезаним са водама, у успешној спреси науке, истраживања и пројектовања и традицији дугој више од 75 година, изналазимо најбоља решења у задовољавању потреба и циљева својих клијената и изради и имплементирању сложених и изазовних пројеката.

▶ ДЕЛАТНОСТИ:

- Пројектовање, надзор, консалтинг и инжењеринг у грађевинарству, управљању водама и заштити животне средине
- Израда мултидисциплинарних студија из области вода
- Истраживање, развој и едукација у техничко-технолошким наукама
- Софтверски инжењеринг и развој, имплементација и одржавање информационих система
- Теренска и лабораторијска испитивања, мерења и осматрања воде, земљишта и грађевинских конструкција
- Израда планских и стратешких докумената

▶ ОБЛАСТИ:

- Хидроелектране и бране са акумулацијама
- Управљање и одржавање постојећих брана
- Снабдевање водом
- Каналисање и пречишћавање отпадних вода
- Наводњавање и одводњавање
- Заштита од спољашњих и унутрашњих вода и уређење река и сливова
- Учешће у инфраструктурним пројектима (путеви, метро, гасовод)
- Посебне услуге у вези са рудницима и депонијама
- Глобално управљање водама и заштита животне средине

Институт за водопривреду „Јарослав Черни“ А. Д. • Јарослава Черног 80, 11226 Пиносава, Београд

+381 11 61 76 600

office@jcerni.rs

www.jcerni.rs



Univerzitet u Novom Sadu
Prirodno-matematički
fakultet
**Departman za hemiju,
biohemiju i zaštitu životne
sredine**

Trg Dositeja Obradovića 3, 21000 Novi Sad
Tel: +381 21 6350-672, Fax: +381 21 454-
065
www.dh.pmf.uns.ac.rs
e-mail: infohemija@dh.uns.ac.rs



PILOT postrojenje za pripremu vode za piće

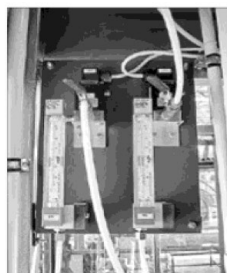


Raspolažemo mobilnim, modularnim PILOT postrojenjem kapaciteta 2 m³/h koje se sastoji iz 9 funkcionalnih podsklopova [korekcija pH; oksidacija; koagulacija; flokulacija; taloženje; filtracija; adsorpcija; jonska izmena; membranska separacija]. Postrojenje transportujemo na vašu lokaciju i testiranjem na sirovaj i/ili delimično obrađenoj vodi u trajanju 4-6 meseci definišemo tehnološko rešenje.

Na PILOT-u postoji mogućnost kombinovanja različitih faza i podfaza procesa pripreme vode, a u cilju:

- utvrđivanja procesnih parametara u uslovima sličnim realnim;
- definisanja efekata i optimizovanja pojedinih procesnih faza u sklopu tehnološke linije;
- upoređivanja efekata odabranih tehnoloških rešenja;

Sve prateće analize sprovodimo u sopstvenim laboratorijama.



Dr Jasmina Agbaba | 021/485-2798
jasmina.agbaba@dh.uns.ac.rs | www.dh.uns.ac.rs



Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu
Studijski program HEMIJSKO INŽENJERSTVO
Studijsko područje NEORGANSKA HEMIJSKA
TEHNOLOGIJA

OBAVEZNI PREDMETI

- ↳ Neorganska hemijska tehnologija
- ↳ Termodinamički osnovi neorganske hemijske tehnologije
- ↳ Tehnologija vode
- ↳ Sagorevanje i industrijske peći
- ↳ Heterogena ravnoteža
- ↳ Osnovi tehnologije keramike

NAUČNO-ISTRAŽIVAČKI RAD

- ↳ Savremeni postupci sinteze i procesiranja keramičkih i staklastih materijala za primenu u visokim tehnologijama, medicini, vojnoj industriji, pripremi i preradi vode: biokeramika, biostakla, optička stakla, staklo-keramika, sorpcioni materijali, vatrostalni materijali...
- ↳ Energetika hemijsko-tehnoloških postupaka
- ↳ Procesi sagorevanja i ekonomika goriva i industrijskih peći
- ↳ Termodinamika rastvora elektrolita (industrija soli, veštačkih đubriva...)

SARADNJA

- Naučni institut "Vinča"
- Institut tehničkih nauka SANU
- Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju
- Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina
- Institut za ispitivanje materijala
- Tehnološki fakultet Novi Sad
- Rudarsko-geološki fakultet Beograd
- Poljoprivredni fakultet Beograd
- Geozavod
- Institute of Inorganic Chemistry and Institute of Silicate
- Materials of the Riga Technical University
- National Institute for Lasers, Plasma and Radiation Physics Bucharest



IZBORNII PREDMETI

- ↳ Tehnologija stakla
- ↳ Tehnologija građevinskih materijala
- ↳ Tehnologija kiselina, baza i mineralnih đubriva
- ↳ Elektrolitičke tehnologije

MOGUĆNOST ZAPOŠLJAVANJA

Industrija građevinskih materijala
(fabrike za proizvodnju cementa, kreča, građevinske opeke)

- fabrika cementa Novi Popovac-Holcim,
- fabrika cementa Beočin-LaFarge,
- fabrika cementa Kosjerić-Titan,
- fabrika za proizvodnju gas betona-Xella,
- fabrika za proizvodnju građevinske opeke Kanjiža-Tondach,
- fabrika za proizvodnju kreča-Nexe

Industrija keramičkih i vatrostalnih materijala

- fabrike za proizvodnju sanitarne keramike, porcelana, elektroporcelana, vatrostalnih materijala

Industrija emajliranih proizvoda

- Metalac Gornji Milanovac,
- Sloboda Čačak

Industrija stakla

Industrija kiselina, baza i veštačkih đubriva

- Zorka Šabac,
- Azotara Subotica,
- IHP Prahovo,
- HIP Pančevo

Pogoni za pripremu i preradu vode

- priprema vode za piće,
- priprema vode za potrebe industrije (Termoelektrane, prehrambena, farmaceutska industrija..)

Naučno-istraživačke organizacije

Laboratorije

Zastupništva i predstavništva stranih firmi za prodaju laboratorijske i industrijske opreme i hemikalija



ИНЖЕЊЕРСКА АКАДЕМИЈА СРБИЈЕ

Инжењерска академија Србије - ИАС основана је 26.06.2000. године ради остваривања циљева и задатака из техничко-технолошких делатности, развоја и унапређења инжењерске струке, примене савремених техничко-технолошких знања, унапређења стандарда и садржаја у науци, образовању, привреди, заштити животне средине и другим привредним сферама живота и рада.

Идеја оснивања Инжењерске академије била је присутна у круговима Савеза инжењера и техничара Југославије - СИТЈ још од 1993. године, када је у Статут СИТЈ унета одредба о оснивању Академије. На осмом Конгресу СИТЈ, септембра 1997. године, предлог за оснивање Инжењерске академије добио је пуну подршку.

Активни оснивачи Инжењерске академије Србије - ИАС су:

- Савез инжењера и техничара Србије - СИТС
- Друштво за путеве Србије.

МИСИЈА

Мисија ИАС је да буде креативна и иновативна научно-стручна организација која ће подржати изврност у области инжењерског и научног стваралаштва и допринети развоју техничких наука и преносу знања оријентисаних на економски и привредни развој Србије, као и укупни развој друштва у целини, уз промовисање одрживог развоја, заштите животне средине и људи и безбедну употребу технологија.

ВИЗИЈА

Визија ИАС је да у наредних десет година постане високо респектабилна научно-стручна инжењерска организација у функцији унапређења привредног, друштвеног и економског амбијента Републике Србије.

СИСТЕМ ВРЕДНОСТИ

Систем вредности ИАС заснива се на промовисању професионализма, академског понашања и поштовања високих етичких норми.

ИАС, 11000 Београд, Кнеза Милоша 9/www.ias.org.rs; E-mail:
office@ias.org.rs



www.ipininstitut.com





ЈАВНО КОМУНАЛНО ПРЕДУЗЕЋЕ „ВОДОВОД - КРУШЕВАЦ“

Основано: 1957. године, оснивач: Град Крушевац

Адреса: Душанова 46, 37000 Крушевац

Веб сајт: www.vodovodks.co.rs

Пословна мејл адреса: info@vodovodks.co.rs

Корисничка мејл адреса: zahtevi@vodovodks.co.rs

Контакт телефон: 037/ 415 - 301 (централа)

Бесплатни кориснички телефон: 0800/ 303 - 037

Основне делатности ЈКП „Водовод - Крушевац“ су сакупљање, пречишћавање и дистрибуција воде.

Поред основне предузеће се бави и следећим делатностима:

- одржавање водоводне и канализационе мреже,
- извођење грађевинских радова на објектима канализационе и водоводне мреже,
- сакупљање и одвођење отпадних вода,
- оправка и баждарење мерних инструмената.

ЈКП “Водовод - Крушевац” већ четири деценије обезбеђује сигурно водоснабдевање за све своје кориснике, а ове године посебно се поносимо јер обележавамо 40 година од изградње Фабрике за прераду и производњу воде за пиће у Мајдеву.

Од тада па до данас, поред града Крушевца, још 76 сеоских насеља на подручју нашег града успешно су прикључени на централни систем водоснабдевања, што омогућује да 120.000 наших грађана пију најздравију воду у Србији. Одржавамо преко 900 км водоводне мреже, 350 км фекалне канализационе мреже и 150 км атмосферске канализационе мреже. Сваке године реализујемо инвестиционе пројекте који обухватају изградњу, реконструкцију и замену дотрајалих водоводних и канализационих линија, а све у циљу побољшања наше комуналне инфраструктуре, како на градском и приградском, тако и на сеоском подручју нашег града.

Поред Града Крушевца са система језера Ћелије пијаћом водом снабдевамо и општине Александровац, Ћићевац и део Трстеника, односно још 35.000 становника.

Од 2020. године, пуштањем у рад Постројења за пречишћавање отпадних вода (ППОВ), Град Крушевац је поставио високе стандарде у области екологије и циркуларне економије и постао један од “зелених” еколошки чистих градова у Србији.

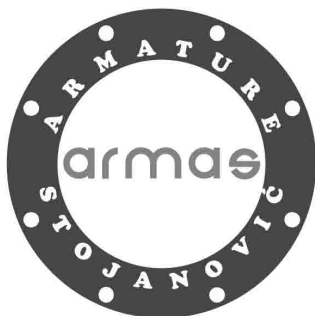
Наш фокус је пружање квалитетне услуге дистрибуције воде за пиће која задовољава највише стандарде квалитета, квантитета и здравствене исправности, уз третман одвођења и пречишћавања отпадних вода у складу са највишим стандардима заштите животне средине. Извршавамо све послове одговорно и савесно, унапређујући услуге у складу са системом квалитета и законском регулативом Републике Србије, фокусирани на потребе корисника и локалне заједнице. Редовно и континуирано обавештавамо јавност о свим активностима нашег предузећа и пружамо све потребне сервисне информације како бисмо осигурали да наши корисници буду потпуно информисани.

Овим активностима ЈКП „Водовод-Крушевац“ оправдава своју лидерску позицију тиме што је постао регионални центар за водоснабдевање и пречишћавање отпадних вода Расинског округа.

SPONZORI

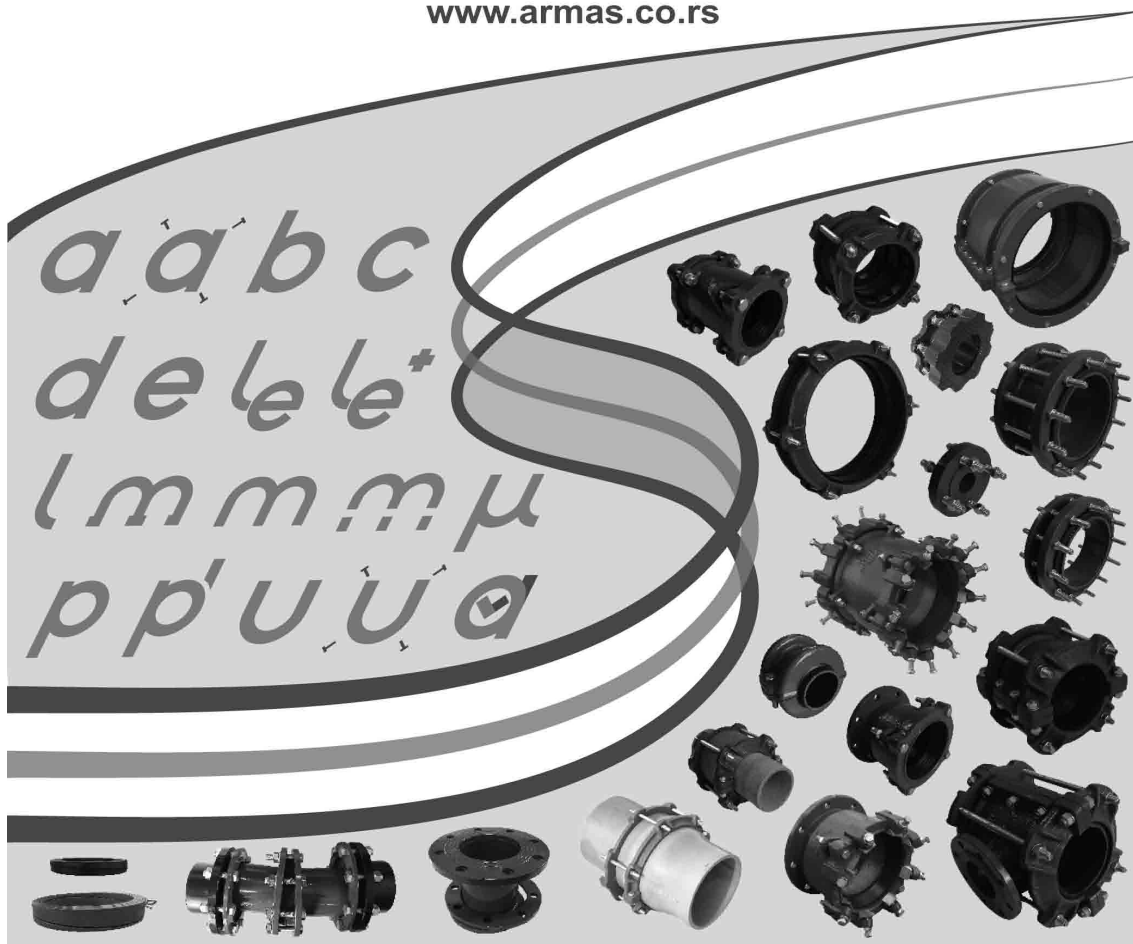
A R M A T U R E S T O J A N O V I Ć

ARMAS



Kvalitetna rešenja, trajna sigurnost.

www.armas.co.rs





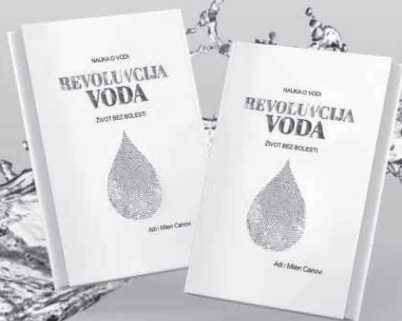
JONIZATOR ZA VODU

Dr Tyent



TYENT SERBIA

- Jonizatori Vode za Čistu i Živu Vodu
 - Različiti tipovi Jonizatora Vode
 - Visok Kvalitet alkalne i kisele vode
- Uklanja kamenac, hlor i sve teške metale
- Voda je obogaćena sa magnezijumom, kalijumom i kalcijumom



Tient Doo

Otona Župan i a 44, Novi Beograd, Srbija

Tel: +381/6356524, +381/6356584 ilove@tyentserbia.com

www.tyentserbia.com



<http://www.mak-cmc.si>



MAK CMC tehnologija vode d.o.o.

Tbilisijaska ulica 81

1000 Ljubljana, Slovenija

Tel.: ++386 (0)1 423 33 55

Fax: ++386 (0)1 423 40 44

E-mail: info.mak@siol.net

Internet: <http://www.mak-cmc.si>



PAN INŽENJERING

LOCIRANJE KVARA

na vodovodnoj i kanalizacionoj mreži

za bezbednije
EKOLOŠKO OKRUŽENJE



Kontinuirani protok, bez zastoja.

ACQ580 frekventni pretvarač
za industriju voda

ABB frekventni pretvarači za sisteme vodosnabdevanja i sisteme komunalnih otpadnih voda su specijalno napravljeni da osiguraju kontinuirani protok vode. Specijalno razvijene funkcije pretvarača ACQ580 pouzdano održavaju protok u sistemu i štite vašu opremu čak i u najzahtevnijim uslovima. Bez nepredviđenih zastoja, bez obzira na okolnosti.

www.abb.com/drives

ABB

NAPLATA

sistem za obračun i naplatu komunalnih usluga



KOMPLETNO REŠENJE EVIDENCIJE POTROŠNJE I OBRAČUNA

Povećavanje efikasnosti i kvaliteta evidencije potrošnje. Racionalizacija angažovanja na terenu. Kvalitetni obrasci računa. Smanjivanje broja reklamacija.
Povećavanje efektivnosti i efikasnosti naplate. Podrška za naplatu zaostalih i teško naplativih potraživanja. Brza implementacija. Kompatibilnost sa standardnim računovodstvenim softverom.

PRIMENJUJE 32 VODOVODA



41 KOMUNALNO PREDUZEĆE KORISTI BILLING SISTEM NAPLATA



OmniData
društvo za projektovanje i izradu informacionih sistema

Koste Abraševića 2, 15000 Šabac

tel +381 15 355 182 fax +381 15 351 103 mob +381 64 8052 550 email omnidataoo@gmail.com
www.omnidata.rs www.omnidataagency.com www.mojracuni.com



ISBN 978-86-82563-30-3