

SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE



37. MEĐUNARODNI
STRUČNO-NAUČNI SKUP

ZBORNİK RADOVA

VODOVOD
I KANALIZACIJA '16

Vrdnik, 11-14. oktobar 2016.

HAFI



MIGROS



MIGROS d.o.o.
Bukovački put 80
SRBIJA – 21132 Petrovaradin

Tel./Fax: +381 21 511289
Servis: +381 21 6322755
E-mail: migros@eunet.rs
Web: www.migros.co.rs

HAFI PROJECT & TECHNOLOGY GmbH
A – 6800 Feldkirch, Mühletorplatz 4 – 6
AUSTRIA

Tel.: +43 5522 779240
Fax: +43 5522 74938
E-mail: sales@hafi.cc
Web: www.hafi.cc

Prodaja • konsalting • projektovanje • servis

- Postrojenja za prečišćavanje otpadnih komunalnih voda
- Aeracija – BIOCOS – Nove tehnologije
- Procesna tehnika – Tehnologija komprimovanog vazduha
- Servis, puštanje u pogon i održavanje



SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE

**37. Međunarodni
stručno - naučni skup**

VODOVOD I KANALIZACIJA '16

Zbornik radova

Vrdnik, 11 – 14. oktobar 2016.



Izdavač:

Savez inženjera i tehničara Srbije, Beograd

Za izdavača:

mr Branislav Vujinović, dipl. inž, generalni sekretar

Programski odbor:

prof. dr Časlav Lačnjevac, (predsednik), prof. dr Srđan Kolaković,
prof. dr Zvonko Gulišija, doc. dr Dragan Milićević, prof. dr Radomir
Kapor, Dušan Đurić, prof. dr Goran Sekulić, prof. dr Vaso Novaković,
prof. dr Milan Sak-Bosnar, prof. dr Fehim Korać, prof. dr Dragica
Čamovska, prof. dr Kiril Lisichkov, prof. dr Filip Kokalj, Zoran Matić,
mr Bogdan Vlahović

Organizacioni odbor:

mr Branislav Vujinović (predsednik), prof. dr Jovan Despotović,
Ivica Nikić, Slobodan Stanić, mr Zoran Pendić, Olivera Ćosović i
Marijana Mihajlović

Glavni i odgovorni urednik:

prof. dr Časlav Lačnjevac, dipl. inž.

Lektura i korektura

Olivera Ćosović

Tehnički urednik:

Olja Jovičić

Štampa:

Grafički atelje "Dunav", Zemun

Naslovna strana

Reka Drina, Srbija

Tiraž: 200 primeraka

Organizator:

Savez inženjera i tehničara Srbije

Suorganizatori:

Inženjerska akademija Srbije

JKP »Beogradski vodovod i kanalizacija«

Inženjerska komora Srbije

Institut za tehnologiju nuklearnih

i drugih mineralnih sirovina, Beograd

Institut za vodoprivredu »Jaroslav Černi« Beograd

Institut za primjenjenu geologiju

i vodoinženjering, Bijeljina

Saobraćajni institut CIP, Beograd

JP »Vodovod« Ruma

Pokrovitelj:

**Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja
Republike Srbije**

CIP - Каталогизација у публикацији -

Народна библиотека Србије, Београд

628.1/.2(082)

МЕЂУНАРОДНИ стручно-научни скуп Водовод и канализација

(37 ; 2016 ; Врдник)

Zbornik radova / 37. Međunarodni stručno-naučni skup

Vodovod i kanalizacija '16, Vrdnik, 11-14. oktobar 2016.

; [organizatori] Savez inženjera i tehničara Srbije ...

[et al.]; [glavni i odgovorni urednik Časlav Lačnjevac].

- Beograd : Savez inženjera i tehničara Srbije, 2016

(Zemun : "Dunav"). - 357 str. : ilustr. ; 24 cm

Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tekst lat. i ćir.

- Tiraž 200. - Napomene uz tekst. - Bibliografija uz

svaki rad. - Abstracts.

ISBN 978-86-80067-34-6

1. Савез инжењера и техничара Србије (Београд)

а) Водовод - Зборници б) Канализација - Зборници

COBISS.SR-ID 226240524



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 средњовековне 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 пољопривредно 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 са 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 41 ЧЛАНИЦЕ 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 Паничић** 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 инжењера и техничара Србије ради увећања њиховог стручног знања, обезбеђења одговарајућег статуса у друштву, на бази њиховог доприноса друштвено-економским, научно-технолошком и привредном развоју Републике Србије;
- обједињавање, јачање и омасовљавање основних инжењерско-техничарских организација Србије, развијање међусобне сарадње и сарадње са одговарајућим међународним организацијама инжењера и техничара;
- побољшање сталешког интереса, друштвеног угледа и заштите чланова инжењерско-техничарске организације Србије;
- 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 инвестиционим и другим подухватима;
- неговање и развијање етике инжењерско-техничарског позива;
- подстицање, организовање и издавање научних и стручних радова, часописа и других публикација од интереса за инжењерско-техничарску организацију;
- рад на техничкој регулативи (законима, прописима и стандардима), обезбеђујући њену савременост, адекватност, актуелност и функционалност;
- разматрање и давање стручних мишљења о плановима, програмима, анализама и другим актима важним за развој технике, технологије и производње у Републици Србији;
- подстицање и помагање оних активности и иницијатива које су усмерене на очување човекове околине и уређење простора, уштеду и рационализацију потрошње свих врста енергије;
- припремање, одржавање и помагање одржавања скупова чији је циљ непрекидно стручно образовање и усавршавање инжењера и техничара;
- пружање помоћи у развоју и унапређењу технике и привреде чији су циљеви слични циљевима инжењерско-техничарске организације;
- организовање мултидисциплинарних стручних скупова и скупова од ширег друштвеног интереса;
- сарадња са одговарајућим друштвено-стручним, привредним организацијама и другим организацијама и органима на реализацији задатака од заједничког интереса;

- управљање Домом и осталом имовином Савеза инжењера и техничара Србије. Савез и чланице Савеза имају развијену сарадњу са органима локалне самоуправе, одговарајућим градским и републичким министарствима и другим органима, Српском академијом наука, 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 дуги 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 – СИГС, данас има више хиљада својих чланова, 41 своју чланицу у Србији, и то: 19 републичких струковних савеза различитих инжењерских струка (архитекте, урбанисти, грађевински, машински, електро инжењери, рударски, геолози, геодети, агрономи, шумари, хемичари и др.), 7 републичких мултидисциплинарних друштава (екологија, стандарди и квалитет, информатика, заштита материјала и корозија), 1 покрајински Савез, 14 регионалних, градских и општинских удружења.

Савез је оснивач ИАС – Инжењерске академије Србије и колективни је члан Привредне коморе Србије.

У оквиру Савеза формиран је у 2002. години Развојни центар СИГС-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.

Огроман је број књига, зборника и друге стручне литературе издате и штампане од стране чланица и Савеза у протеклом периоду, послова на стручној едукацији инжењера, одржаних домаћих и међународних стручних скупова, програмских расправа и презентација са стручним ставовима и предлозима, о важним техничким и технолошким садржајима локалног и ширег друштвеног значаја.

Органи, руководство и стручна служба Савеза раде у складу са Законом, Статутом и другим општим актима и до сада нису одговарали ни по једном основу.

Савез укупан свој рад и пословање реализује у складу са процедурама и стандардима система менаџмент квалитета и има **домаћи сертификат YUQS и интернационални IQNet.**

Савез има своју покретну и непокретну имовину (Домове инжењера у Београду, Новом Саду и Нишу), 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:

- FEANI – Европска федерација националних инжењерских удружења;
- COPISSE – Стална конференција инжењера Југоисточне Европе;

FEANI непосредно комуницира са одговарајућим органима Европске уније и учесник је у одређеним пројектима и програмима које финансирају органи Европске уније.

Савез као чланица FEANI посебно учествује у програмима који се односе на сталне облике едукације инжењера, затим у оквиру посебне Комисије за мониторинг у вези са добијањем EUR-ING титуле и друго.

Већина чланица Савеза, струковних и мултидисциплинарних удружења на републичком нивоу, чланови су одговарајућих међународних организација са којима имају конкретну сарадњу.

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

<i>Dušan Stojadinović, Irena Grujić</i> Značaj hidrogeologije u vodosnabdevanju naselja duž toka Velike Morave	13
<i>Aleksandar Daničić</i> Međusobni uticaj vitalnih objekata u vodovodno-distribucionom sistemu	19
<i>Ivan Milojković, Marko Ljuboja, Nikola Radojlović</i> Više kriterijumski izbor tehnologije izvođenja vodovodnih deonica od Zučke kapije do naselja Kaluđerica	33
<i>Miloš Zorić, Zoran Radenković</i> Rezerve podzmenih voda izvorišta za javno vodosnabdevanje Raške	39
<i>Nikola Nikolić, Dragan Kaluđerović, Vaso Novaković, Esad Oruč</i> 3D matematički model izvorišta „Domažić“ opština Gradačac, Bosna i Hercegovina	46
<i>Nikola Nikolić, Dragan Kaluđerović, Vaso Novaković, Esad Oruč</i> Model transporta zagađujuće materije u zoni izvorišta „Domažić“, opština Gradačac, Bosna i Hercegovina	58
<i>Stanko Stankov</i> Upravljanje i nadzor bunarskih postrojenja	69
<i>Zoran Dimitrijević, Dragan Marinović, Nebojša Dimitrijević</i> Seoski vodovodi na teritoriji grada Kraljeva	77
<i>Svjetlana Lalić, Ivan Špadijer, Milorad Ivanović</i> Sanacija čeličnog cjevovoda Regionalnog vodovoda Crnogorsko primorje metodom bez iskopavanja	87
<i>Marjan Mitić, Dragan Milićević, Ljiljana Anđelković</i> Alokacija vode na slivu u uslovima ograničenih vodnih resursa	93
<i>Vladimir Nikolić, Dragan Milićević</i> Modeling the water resources allocation in the basin	103
<i>Dejan Nešković, Miroslav Krmpotić, Dejan Tadić, Danijela Poljak, Aleksandar Garić, Sandra Krmpotić, Milan Milinović</i> Određivanje zona sanitarne zaštite na lokalnim izvorištima podzemnih voda opštine Irig	114

<i>Dragan Milićević, Marjan Mitić, Dragana Bjeletić Antić</i>	
Planiranje i projektovanje sistema održivog integralnog upravljanja atmosferskim vodama u urbanim sredinama.....	120
<i>Ivanka Kaut, Jelena Stojić</i>	
Kvalitet vode Vodovoda „Pančevo“ isporučene potrošačima sa osvrtom na kvalitet sirove vode i sporedne proizvode dezinfekcije	130
<i>Darko Vuksanović, Petar Živković, Katarina Živković, Danijela Šuković, Dragan Radonjić</i>	
Ispitivanje kvaliteta podzemnih voda prostora „Zapadne vile“ dijela turističkog kompleksa Portonovi u Kumboru sa preporukama remedijacije	136
<i>Mileta Perišić, Dragana Jovanović</i>	
Prečišćavanje podzemne vode sa obezbeđenjem standarda kvaliteta vode za piće, slučajni uzorak sa severa APV	148
<i>Zorana Radibratović, Marija Vilotijević, Marko Ljuboja</i>	
Rešavanje problema povećane koncentracije nikla (Ni) u vodi za piće na PPV Zlatibor	155
<i>Aleksandar Tanasković, Željko Janković</i>	
Sagledavanje mogućnosti implementacije dezinfekcije hlor-dioksidom u sistemima za vodosnabdevanje	163
<i>Brankica Majkić-Dursun, Ivana Oros, Predrag Vulić</i>	
Značaj primene savremenih laboratorijskih metoda kod ispitivanja bunarskih taloga	170
<i>Željka Ostojić, Vladana Rajaković-Ognjanović, Strahinja Nikolić, Branimir Sević</i>	
Koeficijent brzine hemijskih reakcija u modelima kvaliteta vode distributivnih vodovodnih mreža.....	178
<i>Stanko Stankov</i>	
Upravljačko-nadzorni sistem postrojenja za hemijsku pripremu vode	185
<i>Milovan Živković, Janko Živković</i>	
Numerička analiza čvrstoće cevni priključaka.....	193
<i>Radojica Graovac, Dragomir Marković</i>	
Primena optičkog kabla na brani/nasipu.....	199
<i>Goran Orašanin, Stana Buha</i>	
Vodomjeri – pozivanje na standarde serije BAS EN ISO 4046	205

<i>Milan Đorđević</i>	
Primena sistema daljinskog očitavanja potrošnje vode u našim vodovodima	211
<i>Stevan Prohaska, Vladislava Bartoš Divac, Dragan Đukić, Nedeljko Todorović, Zoran Vučinić</i>	
Intenzitet jakih kiša u Srbiji za potrebe dimenzionisanja kišne kanalizacije	219
<i>Branko Sekulić, Aleksandra Marjanović, Goran Ćorilić</i>	
Kanalisanje fekalnih otpadnih voda – nov pristup poznatom/teorija i praksa	224
<i>Sreten Tomović, Dragan Milićević, Ljiljana Anđelković</i>	
Prikaz postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda „Buljarica“	230
<i>Branislava Matić, Verica Jovanović, Ljiljana Jovanović, Radmila Šerović</i>	
Dispozicija otpadnih voda iz zdravstvenih ustanova u Srbiji	239
<i>Katarina Spasović, Snežana Đuranović, Miljana Rančić</i>	
Kvalitet otpadnih voda i stanje deponija u Republici Srbiji – ispitivanja izvršena u ustanovama javnog zdravstva	246
<i>Jovana Tončić, Jasna Čolić, Anđelka Petković, Tanja Nenin</i>	
Karakterizacija procednih voda	252
<i>Jasna Čolić, Tanja Nenin, Anđelka Petković, Jovana Tončić</i>	
Uticaj otpadnih voda termoelektrana na Mlavi i Dunavu	257
<i>Katerina Atkovska, Hamdije Memedi, Kiril Lisichkov, Gordana Ruseska, Shaban Jakupi, Stefan Kuvendziev, Mirko Marinkovski, Anita Grozdanov</i>	
The influence of the municipal solid waste landfill on the quality of the regional water resources	262
<i>Dragan Marinović, Zoran Dimitrijević, Marina Stojanović, Svetlana Nikolić</i>	
Prečišćavanje otpadnih voda grada Kraljeva	267
<i>Veljko Đukić</i>	
Prečišćavanje otpadnih voda iz tekstilne industrije	276
<i>Ivan Milojković, Miodrag Popović, Natalija Pavlović</i>	
Analiza metoda uklanjanja ulja iz atmosferskih otpadnih voda u TE-TO „Novi Sad“	282
<i>Danijela Kardaš, Petar Gvero</i>	
Otpadna voda kao obnovljivi izvor energije	288

<i>Denisa Đorđević, Dijana Vlajić</i>	
Primena termoplastičnih materijala u projektima deponija pepela i jalovištima.....	294
<i>Dragan Ivanoski, Slaviša Trajković, Milan Gocić, Dragan Milićević</i>	
Održivo upravljanje zapipanjem akumulacionih jezera nanosom.....	301
<i>Slavjanka Pejčinovska-Andonova, Dragica Čamovska</i>	
Environmental impact assessment during the decommissioning of the product facility.....	310
<i>Mladen Amović, Mladen Đurić, Dejan Vasić</i>	
Implementacija geoportala katastra komunalnih uređaja u skladu sa INSPIRE direktivom	314
<i>Željko Marković</i>	
Održavanje sistema u cilju poboljšavanja energetske efikasnosti	320
<i>Dragomir Marković, Radojica Graovac, Bojan Milinković</i>	
Izbor opreme za tehničku zaštitu vodne infrastrukture	324
<i>Ljiljana Jovanović, Dragana Jovanović, Nebojša Veljković,</i>	
Protokol o vodi i zdravlju – mogućnosti primene u oblasti procesa životne sredine i zdravlja i ograničavajući faktori u njegovom sprovođenju	330
<i>Zoran Pendić, Marina Strižak, Verica Milovanović, Bojana Jakovljević, Sanja Polak, Ljiljana Jovanović, Časla Lačnjevac, Vesna Miljojević</i>	
Ranjivost vodovodnih sistema za javno snabdevanje stanovništva – bezbednosni aspekt	338
<i>Marina Strižak, Danica Kolarović, Zoran Pendić, Bojana Jakovljević, Zdenka Makuc, Časlav Lačnjeva, Svetlana Urošević, Ljiljana Jovanović, Dragana Jovanović</i>	
Terorističke pretnje vodovodnim sistemima i pristupi njihovoj zaštiti.....	348

ЗНАЧАЈ ХИДРОГЕОЛОГИЈЕ У ВОДОСНАБДЕВАЊУ НАСЕЉА ДУЖ ТОКА ВЕЛИКЕ МОРАВЕ

SIGNIFICANCE OF HYDROGEOLOGY IN MUNICIPAL WATER SUPPLY ALONG THE VELIKA MORAVA RIVER

ДУШАН СТОЈАДИНОВИЋ¹, ИРЕНА ГРУЈИЋ²

Резиме: У раду се даје приказ хидрогеолошких карактеристика терена долине Велике Мораве, у оквиру којих је формиран алувијални и неогени аквифер. Са аспекта акумулирања и коришћења подземних вода најзначајнији је алувијални аквифер са извориштима чија се вода путем јавних градских водовода користи за водоснабдевање градског, а делом и сеоског становништва, као и индустрије. Да би се одржао квалитет вода ових изворишта, потребно их је заштитити од антропогеног деловања човека.

Кључне речи: аквифер, изворишта, водоснабдевање, заштита

Abstract: The paper gives an overview of the hydrogeological characteristics of the Velika Morava's valley terrain, where alluvial and neogene aquifers were formed. From the point of accumulation and use of underground water, the most important is alluvial aquifer. Within alluvial aquifer, the most important water sources were formed and used for the public water supply in cities and partly for the rural population, as well as for the industry. To maintain the water quality of these sources, they should be protected from the human activity.

Key words: aquifer, springs, water, protection

1. Увод

Велика Морава је наша највећа национална река и значајна притока Дунава. Њен слив обухвата површину од око 40% територије Републике Србије. Заједно са својим главним притокама Јужном и Западном Моравом, од којих и настаје, дренира централни део Родопског планинског система, један мањи део на западу Динарског планинског система и Карпато – балканског система на истоку. Дуж тока Велике Мораве простире се њена широка и пространа долина, чији обод у доњем и средишњем делу чини благо заталасани рељеф, који припада великоморавском неогеном басену и његовим деловима, деспотовачком и млавском басену. У орографском смислу, обод горњег, западног дела, чине планине Јухор и Црни Врх, док источни обод додирују крајњи западни огранци планине Кучај. Преко ражањске преседлине, југоисточни део слива повезан је са долином Јужне Мораве,

¹др Душан Стојадиновић, дипл. инж. геол, Гандијева 74, Нови Београд

²Ирена Грујић, дипл. инж. геол. мастер, Гандијева 74, Нови Београд

а према југозападу са долином Западне Мораве. Средња надморска висина слива износи око 620 mnm, док је средња надморска висина непосредног слива око 103 mnm.

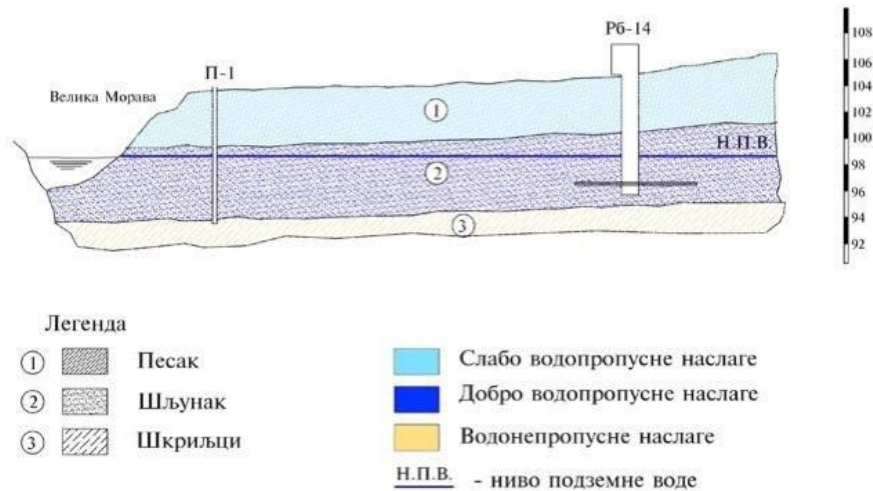
Долином Велике Мораве пролазе највеће саобраћајне комуникације друмског и железничког саобраћаја Републике Србије. Карактерише се значајном агломерацијом градског и сеоског становништва, сконцентрисаних у градовима попут Пожаревца, Велике Планае, Свилајнца, Ћуприје и Параћина. Ови градови су уједно и најзначајнији привредни центри овог подручја.

1. Хидрогеолошке карактеристике терена долине Велике Мораве

У геолошком погледу, највеће распрострањење на подручју Велике Мораве заузимају неогени и квартарни седименти. Управо, у њима се налазе и најзначајнији аквифери подземних вода, које се обилато користе за водоснабдевање градова, сеоских насеља и индустрије. С обзиром да је за сада, ово једини вид могућности снабдевања водом становништва и привредних субјеката на овом подручју, хидрогеолошка истраживања водоносних слојева ових аквифера имала су велики значај. Одвијала су се у “отварању” нових изворишта или у проширењу постојећих. У том погледу најзначајнији су квартарни седименти, представљени алувијалним наслагама, које имају највеће распрострањење у долини Велике Мораве. Ове наслаге чине пескови и шљункови интергрануларне порозности, у оквиру којих је формиран аквифер. Према изведеним теренским и лабораторијским испитивањима њихова порозност износи 26-36%. Овај колекторски слој одликује се високим вредностима коефицијената филтрације, који на основу изведених опита црепања и бројних гранулометријских анализа износи од $K=1 \times 10^{-1} - 1 \times 10^{-3}$ cm/s, док је коефицијент трансмисивности реда величина од $T=1 \times 10^{-2} - 2 \times 10^{-3}$ m²/s. Дебљина овог колекторског слоја је промењива и најчешће износи 6 – 8 m, али на неким деоницама може да буде и већа (реон Петке, Дубравице и Љубичева). У регионалном смислу, дебљина алувијалних наслага Велике Мораве, на основу бројних изведених хидрогеолошких радова, идући од Сталаћа до Пожаревца варира од 5 – 14 m, а од Пожаревца према ушћу Велике Мораве у Дунав и до 25 m. [6]

Повлата овог водоносног слоја изграђена је од слабоводопропусних алевритских наслага, представљена прашинастим глинама, прашинастим песковима и прашинама, дебљине 2-5 m, док њихову подину чине водонепропусне до слабоводопропусне песковите глине и глине, неогене старости. У зони багрданског теснаца, подину чине кристаласти шкриљци палеозоијске старости (сл. 1). Коефицијенти филтрације повлатног слоја, одређени на основу гранулометријских анализа (USBR) су реда величина од $K=1 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-5}$ cm/s, док се коефицијенти подине могу одредити са $K=1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-7}$ cm/s.

Са хидрогеолошког аспекта, алувион Велике Мораве представља једну “отворену” хидрогеолошку структуру, у којој се врши интензивна замена воде. Ова водозамена првенствено се врши из отвореног тока Велике Мораве, на местима где је успостављена директна хидрауличка веза између површинског и подземног тока (слика 1).



Слика 1. Хидрогеолошки профил алувиона Велике Мораве код Брзана

Овакав вид прихрањивања практично се врши дуж њеног целог тока. На овакав међусобни однос река-аквифер, указују и пијезометри лоцирани у инундационом пољу алувијалне равни (Љубичево, Трновче, Брзан), са пијезометарским нивоом који прати осцилације нивоа Велике Мораве. На режим пијезометарског нивоа и прихрањивања подземних вода аквифера утичу и падавине, који се нарочито осећа у јесењем и пролећном периоду. Овакав вид прихрањивања је управо могућ због “отворене” хидрогеолошке структуре алувијалне равни Велике Мораве, у којој се област распрострањења аквифера скоро поклапа са зоном храњења.

Други по значају аквифер који је хидрогеолошки истраживан је неогени. Формиран је у оквиру миоценог песковитог комплекса. Посматрано у вертикалном профилу, као и у хоризонталном распрострањењу, литолошке наслаге овог комплекса карактеришу се врло честим смењивањем водопрпусних пескова и шљункова и водонепрпусних глина и лапора, при чему се ниво подземне воде водоносног песковито-шљунковитог слоја налази под јачим или слабијим хидростатичким притиском, дајући на тај начин аквиферу артески или субартески карактер.

Појава артеског аквифера везана је за дубоке водоносне слојеве, који су до сада констатовани на подручју Параћина, Јагодине, Влашког Дола и Пожаревца. На основу изведених опита и гранулометријских анализа вредности коефицијената филтрације водоносних пескова и шљункова су у границама од $K = 1 \times 10^{-1} - 1 \times 10^{-3}$ cm/s.

Прихрањивање овог аквифера врши се једним делом од алувијалног, испод кога непосредно лежи, процуривањем од падавина кроз слабо водопрпусне слојеве из ободног дела Велике Мораве или инфилтрацијом речне воде из њених притока, као што су Лепеница, Јасеница, Ресава и других токова. Интезивна експлоатација овог аквифера може довести до пада позитивног пијезометарског нивоа и претварања артеског у субартески тип аквифера.

2. Изворишта подземних вода

2.1. Алувијална изворишта

Хидрогеолошка истраживања алувиона Велике Мораве везана за потребе решавања проблема водоснабдевања градова, а делом и сеоских насеља, била су интезивна и бројна. Најинтезивнија истраживања односе се на период од 1968-1985. Тада се “отварају” изворишта за градове који леже дуж долине Велике Мораве или се налазе у оквиру њеног слива. То су Смедерево, Пожаревац, Смедеревска Паланка, Велика Плана, Жабари, Баточина, (Крагујевац) и Ћићевац. Из изворишта ових градова захвата се преко 900 l/s подземне воде. Међутим, треба имати у виду да је ово променљива категорија, јер се нека изворишта проширују бројем експлоатационих бунара, а нека смањују. Најзначајнија и највећа изворишта су “Шалинац” код Смедерева, са капацитетом од 270-300 l/s, “Кључ” код Пожаревца, капацитета 250-270 l/s и “Брзан” извориште за Баточину и Крагујевац, капацитета 150-200 l/s. Остала изворишта су далеко мањег капацитета, са количинама од 30-70 l/s (“Трновче” - Смедеревска Паланка, “Ливаде” - Велика Плана, “Таревина” – Лапово, Жабари).

У регионалном погледу, најзначајније је шалиначко извориште. Ово извориште располаже са моћним шљунковито-песковитим водоносним слојем, чија дебљина премашује 50 m. У оквиру овог комплекса, чија се старост оцењује као плиокувартарна, егзистира моћан аквифер, који је широко отворен према току Велике Мораве. Капацитет овог изворишта може да буде изнад 300 l/s. Такође, процењује се да би се у зони ушћа Велике Мораве у Дунав, могло обезбедити, преко 1,0 m³/s подземне воде.

Потенцијално, значајна локација је и део алувијалне равни на потезу између села Трновче-Милошевац-Лозовик, на којем се капацитет могућег изворишта процењује на око 600-700 l/s. [13]. Значајна је и зона Осипаоница – Љубичево. Да би се алувијални аквифер могао у потпуности користити, треба да буде задовољен и квалитет воде која се експлоатише. У том погледу, на овим извориштима регистрован је повишен садржај гвожђа, мангана, нитрата и нитрита, а повремено и амонијака. У неким случајевима ове вредности су изнад максимално дозвољених концентрација.

2.2. Неогена изворишта

У односу на алувијални аквифер, неогени аквифер има ограничени карактер. Истраживање овог аквифера започиње 1962. год, мада је на подручју Параћина постојање артеског водоносног хоризонта регистровано још далеке 1939. Бушење експлоатационих бунара везује се за дубоке водоносне слојеве али њихово оправдано извођење је до 200 m дубине. Повећање ових дубина доводи до повећања температуре воде и минерализације, када прелазе у термоминералне воде.

Издашност оваквих бунара је најчешће од 3-15 l/s. Коришћење воде неогеног аквифера може бити од значаја код локалног решавања проблема водоснабдевања малих насеља или укључивање ових вода у градски дистрибутивни систем, у циљу

појачавања његовог капацитета или пак за индустријске потребе. Најзначајније неогено извориште је “Рибаре” града Јагодине, чија максимална производност износи око 350 l/s.

3. Закључак

Алувијални аквифер Велике Мораве представља основни ресурс, који се највише користи за обезбеђивање пијаћом водом становништва и индустрије подручја. Други по значају је неогени аквифер, али је његово коришћење ограничено због расположивих експлоатационих резерви. За разлику од овог аквифера, резерве подземних вода алувијалног аквифера се непрекидно обнављају, захваљујући првенствено хидрауличкој вези река-аквифер. У том смислу алувион Велике Мораве представља једну пространу акумулацију слободних подземних вода, чије се укупне билансне резерве процењују на око $1.6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{g}$ [6]. По количинама подземних вода које се експлоатишу, издваја се шалиначко извориште, које према својим потенцијалним резервама ($>300 \text{ l/s}$) може да добије статус регионалног изворишта. Због тога се овом изворишту треба посветити даља пажња, у смислу пројектовања и извођења даљих истражних хидрогеолошких радова. Сматрамо да је ово потребно урадити, јер су поједина изворишта или израубована или је квалитет коришћене воде незадовољавајући. Већина изворишта нема ни успостављене зоне санитарне заштите. У решавању ових проблема, хидрогеологија као научна дисциплина има изузетан значај.

4. Литература

- [1] Милојевић Н, О могућности снабдевања водом градова Параћина и Ћуприје, Геол. анали Балк. пол. књ. XXIX, Београд, 1962.
- [2] Стојадиновић Д, Еколошко вредновање и заштита подземних вода у сливу Велике Мораве, 13. југословенско саветовање “Водовод и канализација ¼92”, Горњи Милановац, 1992.
- [3] Стојадиновић Д, Квалитативна својства подземних вода алувијалне издани Велике Мораве, “Вода и санитарна техника”, Београд, 1993.
- [4] Стојадиновић Д, Заштита подземних вода и проблеми очувања њеног квалитета у оквиру алувијалне издани Велике Мораве, поглавље у монографији “Заштита вода и управљање водним ресурсима Србије”, Београд, 1994.
- [5] Стојадиновић Д, Узајамна хемијска веза између површинских и подземних вода у зони заштитног појаса алувијалног аквифера, 11. саветовање ЈДХИ, Београд, 1994.
- [6] Стојадиновић Д, Хидрогеолошке карактеристике Великоморавског басена, самостална монографија, “Задужбина Андрејевић”, Београд, 1997.
- [7] Стојадиновић Д, Исаковић Д, Стефановић М, Утицај загађивања слива Велике Мораве на промену квалитета подземних вода, Саветовање “Водни ресурси слива Велике Мораве и њихово коришћење”, Крушевац, 1998.
- [8] Стојадиновић Д, Перспективне могућности коришћења расположивих водних потенцијала слива Велике Мораве, Саветовање “Водни ресурси слива Велике Мораве и њихово коришћење”, Крушевац, 1998.

- [9] Томић В, Прилог познавању водоносности терцијарних седимената у зони Параћина, Београд, 1988.
- [10] Стојадиновић Д, Алувијални аквифер као значајан ресурс у искоришћавању подземних вода Републике Србије, XXIX Конгрес ИАХ, Братислава, 1999.
- [11] Стојадиновић Д, Вујић-Стојановић Г, Исаковић Д, Постојеће стање алувиона реке Велике Мораве са аспекта квалитета подземне воде, “Весник - Геозавод”, Београд, 2002.
- [12] Стојадиновић Д, Исаковић Д, Нитрати у подземним водама алувијалног аквифера долине Велике Мораве, “ИАХ Еуромитинг 2002”.- Нитрати у подземним водама у Европи”, Висла, Пољска, 2002.
- [13] Калуђеровић Д, Анализа неодређености резултата калибрације математичког модела изворишта у Трновчу методом NULL SPACE Монте Карло “Вода и санитарна техника”, Београд, 2014.

МЕЂУСОБНИ УТИЦАЈ ВИТАЛНИХ ОБЈЕКТА У ВОДОВОДНО – ДИСТРИБУЦИОНОМ СИСТЕМУ

MUTUAL INFLUENCE OF VITAL FACILITIES IN WATER SUPPLY - DISTRIBUTION SYSTEM

АЛЕКСАНДАР ДАНИЧИЋ¹

Резиме: Сваки водоводно – дистрибуциони систем, као скуп физичких елемената и управљачких захтева, који дефинишу околне услове за његов рад, представља целину која је јединствена у мери која не признаје универзалне рецепте, за одређење развоја или решење било ког проблема. Од бројних дилема, везаних за сваки конкретан случај конципирања водоводно - дистрибуционог система, веома чест проблем је садржан у избору локације, функције и броја виталних објеката, који би требало да учествују у његовом раду. У оквиру овог текста, обрађен је један пример из пројектантске праксе, чији приказ има за циљ упућивање на тежину проблема укључења виталних објеката у рад система.

Кључне речи: утицај, режим притисака, неравномерност, моделирање

Abstract: Each water supply system, as a set of physical elements and control requirements, that define environmental conditions for its work, represents a whole that is unique to the extent that does not recognize the universal recipes for the determination of development or solution to any problem. Of the many problems associated with each specific case of water - distribution system designing, the case, contained in the choice of the location and number of vital facilities, which should participate in the system work, is very common. This article deals with a few examples from design practice, which presentation aims to the understanding of complexity of the problem of vital system facilities number, function and site selection.

Key words: influence, pressure regime, unevenness, modeling

1. Уводна разматрања

У виталне објекте водоводно – дистрибуционог система убрајају се пумпне станице и резервоари, који представљају одређујуће тачке за његов рад. Школски принципи и одређене препоруке, везане за проблем лоцирања ових објеката, као и начин њиховог укључења у рад система, помажу само у мери која може да сузи одређени избор, али не и да определи решење. Од говарајуће паушалне препоруке се сведе на предлоге да се резервоари лоцирају у центрима потрошње / контрарезервоар смести на супротном крају дистрибу-

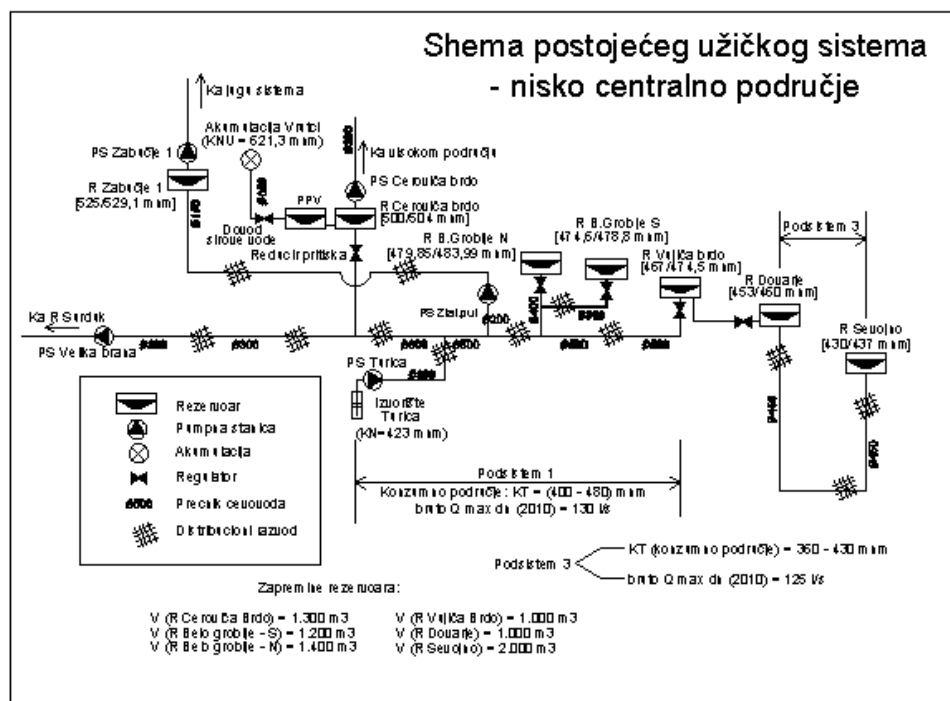
¹ Александар Даничић, дипл. инж. грађ, Институт за водопривреду „Јарослав Черни”,
Јарослава Черног 80, Београд

ционог система, у односу на изворишни резервоар / бустер станица лоцира на коту која омогућава постојање одређене енергетске резерве (тзв. “надпритисак”) итд. Препоруке су ограничене на наведене и њима сличне ставове, али не и на прецизније опредељење, везано за избор локације, улогу и број виталних објеката једног система. Ово представља последицу чињенице да је сваки систем јединствена целина, у мери која не признаје универзалне рецепте за решење бројних питања његове концепције. Али, недостатак одговарајућих препорука не представља оправдање за уочену веома честу појаву неадекватног укључења виталних објеката у рад система, са несагледивим последицама. Израда овог елабората је мотивисана потребом да се укаже на значај начина укључења виталних објеката у рад дистрибуционог система, као фактора од пресудног значаја за његово функционисање. За ову намену, као пример, послужиће ужички водоводно – дистрибуциони систем, обрађен у оквиру Генералног пројекта снабдевања водом општине Ужице (Институт за водопривреду “Јарослав Черни”, Београд 2011.). У оквиру овог пројекта, извршена је опсежна анализа постојећих и будућих потреба за водом, извршена је анализа и дефинисана је дијагностика постојећег (тадашњег) стања снабдевања водом, дефинисане су мере побољшања рада постојећег система и варијантно је опредељен његов развој, по дефинисаним етапама, до краја пројектног периода. Централни део израде пројекта је био садржан у конструисању бројних симулационих модела, постојећег и пројектованих стања система. Анализама вршеним на првом у низу ових модела – калибрисаном, дефинисане су узрочно – последичне везе у систему, а одговарајућа дијагностика је комплетирана конструкцијом модела осталих карактеристичних стања постојећег система (насталих из калибрисаног). Из модела максималне дневне постојеће потрошње, настао је модел побољшања рада система, а из њега бројни модели свих будућих (пројектованих) стања, редовних и ванредних. Ужички систем, који је развијен на подручју града Ужица и ближе и даље периферије – на целокупном источном делу општине, чини укупност импресивног броја виталних објеката – 32 резервоара и 36 пумпних/ бустер/ хидрофорских станица и дистрибуционе мреже, дужине око 220 km. Да не би било забуне, наглашава се да је овде реч о јединственом систему за снабдевање водом, на веома разуђеном подручју, у коме функционише наведени драматичан број објеката у разводној мрежи и који снабдева водом потрошаче лоциране између висинских кота 350 и 750 mnm, унутар 8 висинских зона. На подручју које је покривено постојећим ужичким системом, јединствени систем чини укупност од 42 повезана подсистема, са међусобно најразличитијим примењеним моделима снабдевања водом. Оволика раванска и висинска разуђеност дистрибуционог система, оволики број објеката у мрежи и реализованих начина (модела) снабдевања водом и сложеност токова воде, осим у Ужицу, нису реализовани нигде на овим просторима, што, са становишта планирања и коришћења, чини ужички систем далеко најсложенијим у држави. Због сложености ужичког система, на овом месту не може бити речи о његовој целини, већ о једном његовом мањем делу, који обухвата три централна и неколико

периферних подсистема. Изабрани део система се карактерише присуством већег броја виталних објеката, чији међусобни утицај, анализиран у оквиру поменутог Генералног пројекта, представља тему обраде на овом месту.

2. Постојеће стање снабдевања водом на подручју центра Ужица

Као пример за анализу изабран је део ужичког система, који је развијен на подручју центра и насеља Крчагово и Севојно. Схематски приказ овог дела ужичког система, са основним карактеристикама резервоара, је приказан на слици 1. Наглашава се да је приказана схема поједностављена, што значи да поједини постојећи прикључени подсистеми, који се карактеришу транспортом мањих количина воде и који нису од пресудног значаја за тему обраде у овом тексту, нису приказани на њој. На приложеној схеми, главни ток воде је опредељен положајем трију редно везаних централних подсистема, са гравитационим током од највишег до најнижег, где је главни ток кроз сваки од ових подсистема дефинисан положајем одговарајућег горњег и одговарајућег доњег резервоара. Сваки од приказаних подсистема се одликује значајном висинском разликом, која се остварује између горњег и доњег резервоара, што у сваком од ових подсистема условљава примену регулатора нивоа, на улазу у сваки од доњих резервоара. Коришћење сваког од ових регулатора је неопходна, у смислу заштите од неконтролисаног отицања у нижи подсистем.



Слика 1. Схема дела ужичког система на подручју центра, Крчагово и Севојна

Подсистем 1 представља централни део ужичке дистрибуције, у који се вода пласира из резервоара Р Церовића брдо, лоцираног у низводној тачки истоименог постројења за прераду. Гравитациони ток, одређен висинском разликом између нивоа у Р Церовића брдо и Р Вујића брдо, се остварује посредством главног дистрибуционог цевовода $\phi 600/\phi 500$. На главни дистрибуциони правац подсистема 1, у коме се остварује искључиво једносмеран ток воде од Р Церовића брдо ка Р Вујића брдо, прикључен је цевовод $\phi 400$, на чијем крају су лоцирани резервоари Р Бело гробље - стари и Р Бело гробље - нови, који би требало да, заједно са Р Церовића брдо, учествују у раду подсистема 1. Ради се о водостанском типу прикључења резервоара Бело гробље стари/нови на главни дистрибуциони правац подсистема 1, са приључним цевоводом $\phi 400$, као јединственом доводно/одводном линијом за ове резервоаре. Поред наведеног, на главни дистрибуциони правац $\phi 600/\phi 500$, прикључена су још три подсистема, од којих два служе за евакуацију воде ка периферији, док трећи додатно прихрањује овај подсистем:

- Подсистем Златиборски пут - Забучје - заснован на раду бустер станице "Златиборски пут", првог у низу објеката овог типа, којима се вода из подсистема 1 пласира у високо подручје Забучја, са усисним водом $\phi 200$ пумпне станице, који је прикључен на главну дистрибуциону линију подсистема 1 на њеном низводном делу ($\phi 500$).
- Подсистем Велика брана - Р Сурдук, са ПС Велика брана као узводним објектом, за пласман воде у низ подсистема реализованих на потезу Сурдук – Локићи, на крајњем југозападу општине, са пумпањем, као доминантним видом транспорта.
- Подсистем бунарског изворишта Турица ($Q=70$ l/s), са одговарајућом пумпном станицом и потисним цевоводом $\phi 300$, који је прикључен на главну дистрибуциону линију подсистема 1 на месту редукције $\phi 600/\phi 500$.

Подсистем 1, са Р Церовића брдо ($500/504$ mm), као виталним објектом и доминантним условом тока, снабдева потрошаче центра града, смештене на kotaма $400-480$ mm, што, у делу дистрибуције, (нижи део подсистема 1 - лоциран у околини Р Вујића брдо) производи нерегуларно високе притиске. Да би се умањило ефекат пласмана из Р Церовића брдо у дистрибуцију, на узводном делу главног дистрибуционог цевовода $\phi 600$, уграђен је умањивач притиска, што доводи до жељеног ефекта - смањења високих притисака у нижим деловима дистрибуције, али производи веома уочљиву слабост подсистема, која се манифестује ризиком од појаве подпритиска, на делу високо положене трасе цевовода $\phi 600$ и/или околних прикључних дистрибуционих цевовода.

Подсистем 2, дефинисан између Р Вујића брдо и Р Доварје, представља мањи део система реализованог на нижем централном градском подручју, на који нису прикључени потрошачи. У овај подсистем вода се пласира из подсистема 1, посредством Р Вујића брдо, а гравитациони ток на потезу Р Вујића

брдо - Р Доварје, се остварује повезујућим цевоводом ϕ 450. Како су карактеристичне коте Р Вујића брдо (низводна тачка за подсистем 1, узводна тачка подсистема 2) за 2,5 - 3,5 бара ниже од кота Р Церовића Брдо (узводна тачка подсистема 1), подсистем 2 не заокружује подручје целокупне висинске зоне - овде је пре реч о подзонирању. То значи да је пласман из подсистема 1 у подручје низводно од Р Доварје (подсистем 3 - видети описе у наставку) остварен из два корака – посредством двају резервоара.

Подсистем 3, реализован на потезу Р Доварје - Р Севојно, представља најнижи део ужичке дистрибуције воде. Осим одговарајућих резервоарских објеката (Р Доварје и Р Севојно), најважнији елемент овог подсистема представља главни дистрибуциони цевовод ϕ 450, повезујући на дугом потезу од Крчагова до Севојна. И у овом случају, вода се у подсистем пласира гравитационо - транспорт се врши из дистрибуције суседног, вишег, подсистема, у витални резервоар предметног подсистема (Р Доварје), а одатле у дистрибуциони систем.

Од 3 описана централна подсистема, први и трећи су дистрибуциони, док на други нису прикључени потрошачи. Поређењем постојеће максималне дневне бруто потрошње подсистема 1 (130 l/s), односно подсистема 3 (125 l/s), са одговарајућом запремином резервоара који учествују у раду ових подсистема (3.900 m³ за подсистем 1 и 3.000 m³ за подсистем 3), дефинисана је покривеност резервоарским простором од 33 % (подсистем 1), односно, 28 % (подсистем 3). Наведене вредности, иако нешто мање од препорука (35 - 40%), се могу оценити као повољне. Наиме, препоруке потичу из времена када још није постојало симулационо моделирање за анализу рада система, па у недостатку могућности провере, препоручене вредности представљају неку врсту пројекције на страни сигурности. Са друге стране, искуства са израдом симулационих модела су показала да се прецизном оптимизацијом, уз задовољење свих техничких услова, покривеност меродавне потрошње резервоарским простором спушта на вредности од око 30% (под условом да се правилно користе пројектовани капацитети !). У том смислу, постојећа покривеност резервоарским простором на предметном делу ужичког система је довољна. Али, ради се само о формално довољној покривености – проблематично укључење описаних резервоара у рад дистрибуционог система значајно релативизује ову довољност.

Анализа постојећег стања ужичког система је вршена на моделу који је калибрисан, на моделима осталих карактеристичних стања, насталих из калибрисаног, као и на тзв. алтернативним моделима, формораним под одређеним граничним нереалним околностима, са циљем испитивања одређених својстава постојећег система. Горе описано сложено стање цевовода и виталних објеката централног дела ужичког система производи сложене токове у њему, оптерећене озбиљним проблемима, који су описани у наставку.

Конграрезервоар “Севојно” - због значајне висинске разлике између виталних објеката подсистема 3 (Р Доварје и Р Севојно), од $\Delta H_{\min/\max} = 16 - 30$

m, P Севојно је у потпуности остао изван функције. Наиме, у периоду од изградње P Севојно, потрошња на потезу Доварје – Севојно се никада није толико повећала, да би пијезометарски режим у подсистему био нижи од кога P Севојно, што би омогућило пласман воде из овог објекта. То значи да, у постојећем систему, не постоји могућност повратног пласмана воде из P Севојно у дистрибуцију, па је овај објекат у потпуности искључен из рада система.

Водостанско прикључење резервоара “Бело гобље стари/нови” на главни дистрибуциони цевовод $\phi 600/\phi 500$ подсистема 1 искључује највећи део запремине ових резервоара из рада система. У периодима повећаног пласмана у P Вујића брдо (очекиваног или неочекиваног), пијезометарска кота на месту прикључења резервоара Бело гробље стари/нови на цевовод $\phi 600/\phi 500$ - на правцу главног тока у подсистему, може да се смањи до вредности испод карактеристичних кога резервоара Бело гробље стари/нови, што ове резервоаре оставља празним (немогућност прихрањивања ових резервоара). Супротно овом случају, режим смањеног пласмана у P Вујића брдо, може да произведе онувредност пијезометарске коте на месту прикључења резервоара Бело гробље стари/нови на $\phi 600/\phi 500$, која је већа од нивоа у P Бело гробље стари/нови, што онемогућава повратан пласман из ових резервоара у дистрибуцију. Показало се да резервоари Бело гробље стари/нови могу повољно да функционишу у подсистему 1 (ноћно прихрањивање из ППВ, повратан пласман у дистрибуцију, у дневним врховима потрошње) само у веома узаном интервалу потреба за водом на ниском централном подручју система, односно, ови резервоари у току значајног дела године представљају неискоришћене капацитете. Недовољност простора за изравнање у дистрибуцији подсистема 1 се, у тим условима, надокнађује променљивом производњом, што се неповољно одражава на ППВ и саму дистрибуцију. У постојећим условима, резервоари Бело гробље стари/нови, су искључени, због немогућности адекватног укључења у рад система.

Примена редуцира притисака у подсистему 1 значајно смањује његов протицајни капацитет. Наиме, при потпуно отвореним регулаторима подсистема 1, под осталим неизмењеним постојећим околностима, кроз цевовод $\phi 600/\phi 500$ се може транспортовати количина од 480 - 600 l/s, у зависности од вредности тренутног нова у P Церовића брдо и P Вујића брдо. Примена редуцира притисака, због заштите од појаве подпритиска, значајно лимитира наведену вредност. На алтернативном моделу су извршена испитивања притиска, у тачки непосредно низводно од редуцира (меродавна тачка - лоцирана на највишој коти, у односу на целокупан развод лоциран низводно од редуцира), у функцији од улазног протока у P Вујића брдо. Да би анализа имала смисла, било је неопходно да се фиксира степен отворености посматраног редуцира, и то у мери која омогућава ефикасно умањење притисака на нижим деловима подсистема. Посматрањем најниже лоциране тачке ($K_T=408$ mm), која је смештена на цевоводу $\phi 500$, у близини P Вујића брдо и која се, у условима потпуно отвореног затварача, карактерише вредношћу притиска од 80 – 95 m,

степен отворености затварача у дистрибуцији је вариран до вредности која је умањила притисак у посматраној тачки до интервала од 6 - 6,5 бара. Када је отвореност редуцира фиксирана, на претходно описани начин – до степена који оправдава присуство и употребу овог уређаја у мрежи, варирана је отвореност затварача на улазу у Р Вујића брдо, са циљним условом да вредност притиска у меродавној тачки за ову анализу (тачка лоцирана непосредно низводно од редуцира) буде једнака нули.

Дакле, тражена је гранична вредност протока у суседни – нижи подсистем, односно граница која не би требало да се прелази (проточна моћ подсистема 1, у постојећим условима). Испитивања, вршена под наведеним условима, су показала да се у меродавној тачки притисак спушта на вредност 0 (нула), већ при улазном протоку у Р Вујића брдо од око 200 l/s, што је значајно мање од горе наведених могућности подсистема.

Двојна регулација на подручју подсистема 1, настала применом редуцира на узводном делу ценовода ф 600 и регулатора нивоа, смештеног на улазу у Р Вујића брдо, се веома неповољно одражава на рад дистрибуције. Велика проточна моћ подсистема 1 условљава брзу (перманентну) реакцију регулатора нивоа. То значи да сваки већи проток кроз ценовод ф 600 (у складу са околним условима тока, који омогућавају наведену високу проточност) бива праћен брзим повећањем нивоа у Р Вујића брдо и одговарајућим брзим притварањем регулатора на улазу у Р Вујића брдо. Ова фаза је праћена наглим подизањем узводних притисака, али и нагло умањењем протоком ка Р Вујића Брдо.

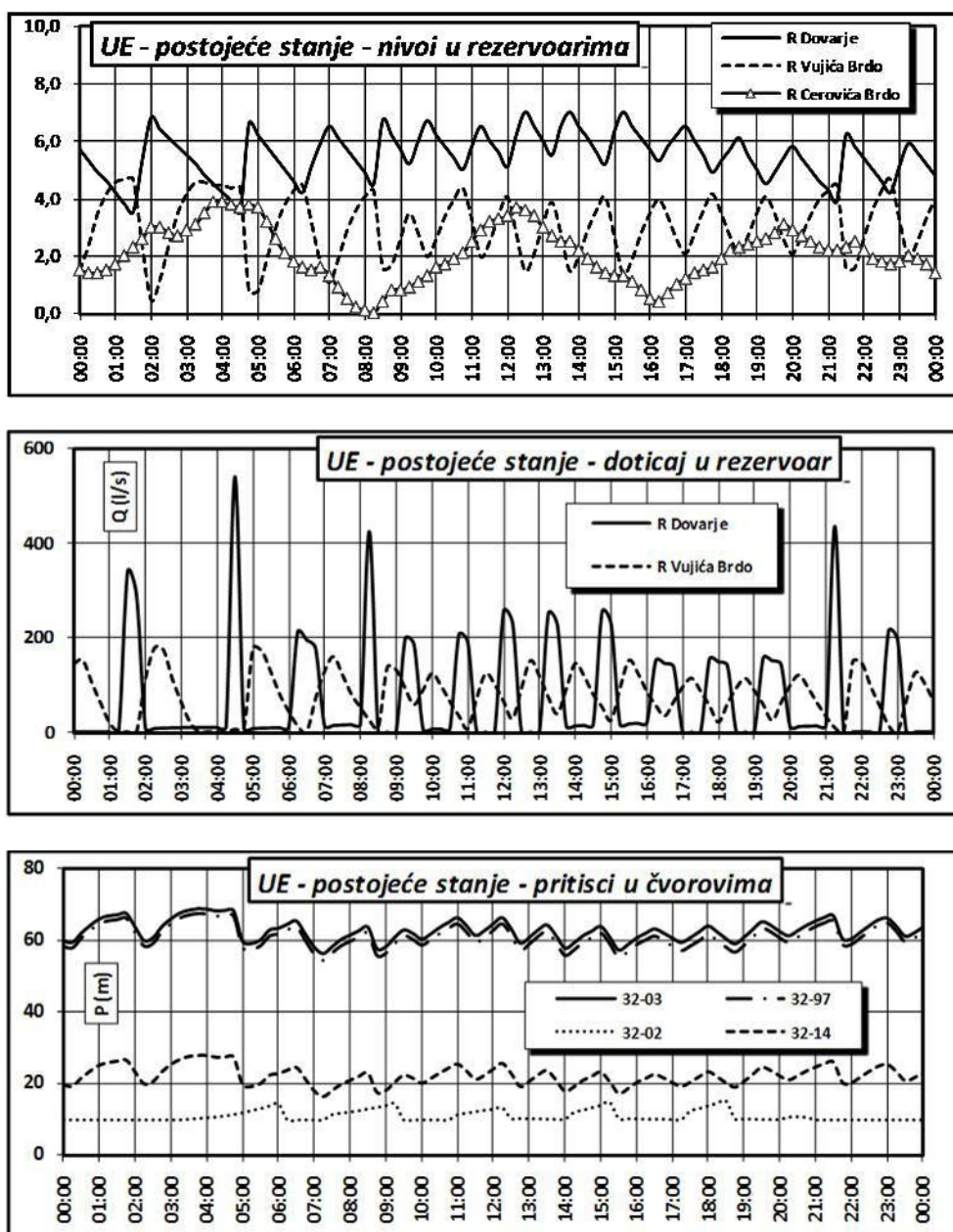
Фаза повећања притисака у подсистему изазива реакцију редуцира, лоцираног на узводном делу дистрибуције, који информацију о повећању притисака конвертује у смањење протицајног профила, са циљним смањењем притисака у подсистему.

Смањење низводних притисака, изазвано реакцијом редуцира, изазива брзо опадање нивоа у Р Вујића брдо, па ову фазу прати отварање регулатора, у складу са његовим управљањем, везаним за ниво у резервоару, што, поново, за резултат има појачан проток ка Р Вујића брдо и циклус се понавља, у недоглед. Са приложених дијаграма (калибрисани модел) видљиво је да време трајања једне фазе (фаза повећања или фаза смањења притисака) износи 30 - 60 минута, што сведочи о драматичној нестабилности подсистема 1 („тестераст“ облик дијаграма промене нивоа, притисака и протока).

Од свих проблема ужичке дистрибуције, предметни је најтежи, јер сталне варијације притисака, осим ниског нивоа услуге, убрзано замарају материјал, стварајући физичке кварове и шире нестабиланост у периферне делове система, посредством бројних директно прикључених суседних подсистема.

Пласман воде са изворишта Турица, које је директно прикључено на подсистем 1, је крајње нестабилан, у складу са нестабилношћу горе описаног подсистема 1. Како на изворишту није реализован резервоар, сталне варијације

притиска на главном дистрибуционом цевоводу $\phi 600/\phi 500$, на који је прикључен потисни цевовод $\phi 300$ пумпне станице “Турица”, изазива стално променљиву производњу на бунарима, што се веома неповољно манифестује на стање изворишта и његов радни век.



Слика 2. Дијаграми рада постојећег система

3. Побољшање рада система

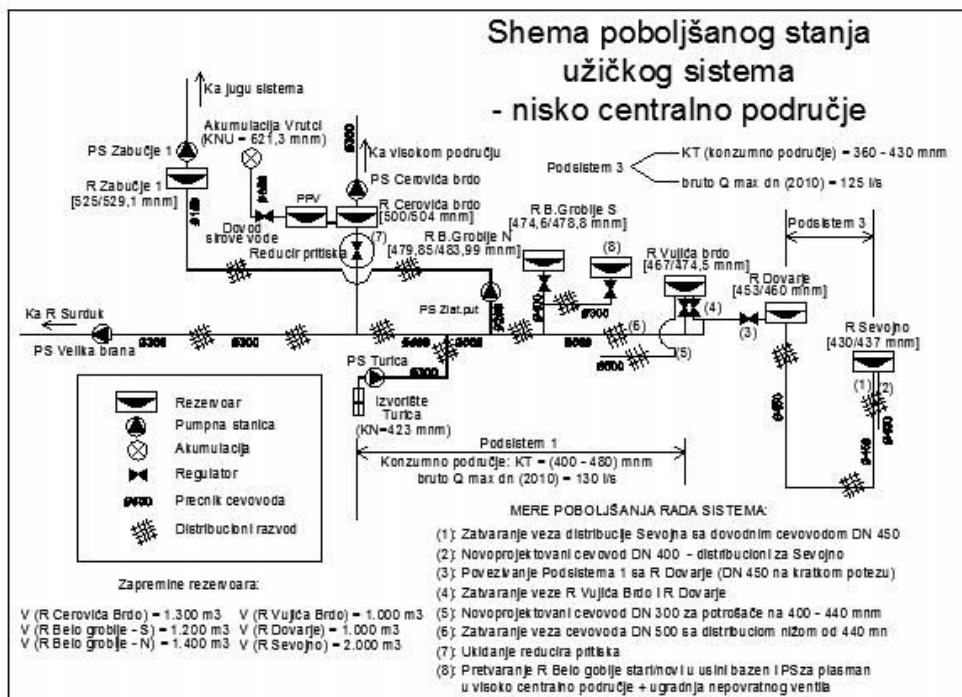
За разлику од често магловите представе о удаљеном стању система на крају пројектног периода, фаза побољшања рада је често најинтересантнија за корисника, јер она дефинише решење конкретних постојећих проблема, у кратком временском периоду (1 - 2 год, најчешће), при минимално потребним улагањима. Описани проблеми централног дела ужичке дистрибуције су значајни, али и решиви, и то веома ефикасно, с обзиром на присуство значајног резервоарског капацитета, неискоришћеног у постојећим условима. У складу са напред приложеним резултатима анализе постојећег стања, модел побољшања рада система (настао из модела постојеће максималне дневне потрошње) је грађен са следећим циљевима:

- Умирење режима притисака на подручју подсистема 1,
- Укључење свих резервоара у рад система, са стварањем услова за коришћење њихових пуних капацитета,
- Остварење услова за коришћење пуног протицајног капацитета подсистема 1 (нарочито значајно са становишта планираног проширења система на удаљена општинска подручја, ев. и на суседне општине, у даљој будућности и након решења проблема на изворишту и одговарајућег повећања капацитета прераде на ППВ).

Анализама вршеним на симулационом моделу побољшања рада система, унутар неколико функционалних варијанти решења, постепено – кроз већи број симулација, које су постепено водиле ка решењу, дефинисане су мере побољшања, које су описане у наставку.

Активирање капацитета Р Севојно, односно, укључење овог објекта у рад система (неактивног у протеклом вишедеценијском периоду) је омогућено чињеницом да су његове карактеристичне коте (430/437) одговарајуће за снабдевање највећег броја потрошача у насељу Севојно, смешетних на терену на 360 – 410 mnm. За мањи део становника Севојна, лоцираних на терену вишем од 410 mnm, предвиђа се снабдевање посредством локалних хидрофорских станица (истоветно решењу постојећег система). Због наведеног, решење на овом делу система укључује изградњу новог главног дистрибуционог цевовода ϕ 400, дужине 1,5 km, на потезу од Р Севојно до дистрибуционог развода, уз његово повезивање са постојећом мрежом, на подручју насеља.

Истовремено, предвиђено је затварање свих веза доводног цевовода ϕ 450 (низводни део повезујућег цевовода на потезу Доварје – Севојно) са дистрибуционим разводом у Севојну. На овај начин, постојећи цевовод ϕ 450 ће постати магистрални за Р Севојно, а улогу дистрибуције ће преузети ново-пројектовани цевовод ϕ 400 (евакуациони за Р Севојно). Описаном интервенцијом, Р Севојно ће преузети функцију прекидне коморе, на потезу Р Доварје – дистрибуција Севојна, активираће се његова запремина (видети приложене дијаграме) и, тиме, растеретити узводно лоциран резервоарски простор, од одговарајућег изравнања на подручју Севојна.



Слика 3. Схема побољшања рада система – централно ниско подручје

Укидање редуцира притиска на узводном делу подсистема 1 је оцењено као неопходна мера, с обзиром на катастрофалне ефекте примене овог уређаја у постојећем систему (троstrуко смањена протицајна способност подсистема 1, производња крајње нестабилног режима притисака, насталог применом двојне регулације у подсистему). Са друге стране, проблем појаве високих притисака у нижим деловима подсистема 1 (разлог уградње редуцира) се може ефикасно решити на други начин, описан у наставку.

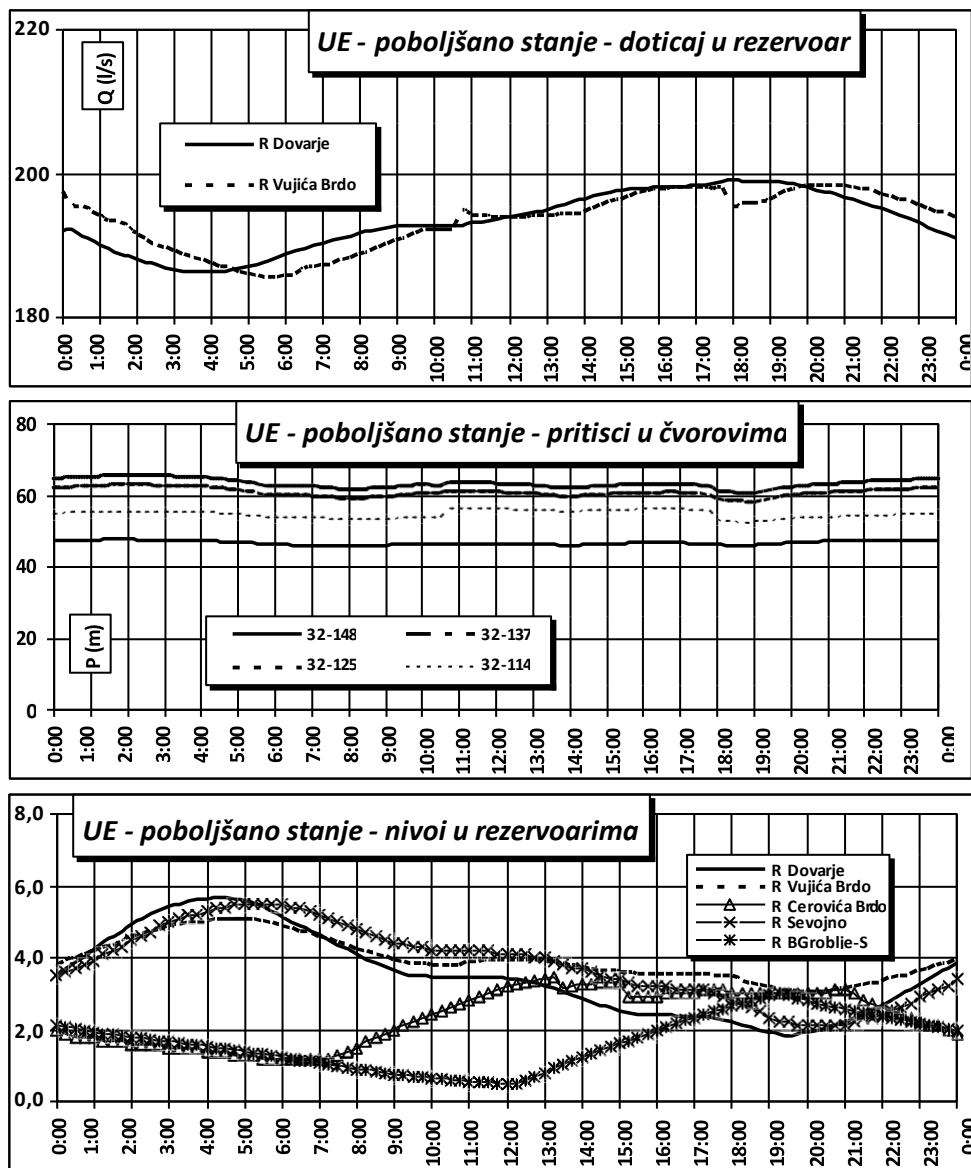
Подзонирање на подручју подсистема 1, је мотивисано жељом да се умање притисци у нижим деловима подсистема 1, али и потребом да се активира Р Вујића брдо. Наиме, у складу са горе приложеним описима и дијаграмима рада постојећих резервоара, шасманиз подсистема 1 у подсистем 3, остварен из два корака (посредством Р Вујића брдо и Р Доварје) не производи изравнање из двају објеката.

Постојећа редна веза ових резервоара, оставља Р Вујића брдо само на нивоу прекидне коморе за пласман у низводно подручје, без услова да се капацитет овог резервоара искористи за изравнање. Због тога, решењем се предвиђа повезивање низводног дела цевовода ϕ 500 (подсистем 1) са цевоводом ϕ 450, повезујућим на потезу Р Вујића брдо - Р Доварје, уз затварање узводног дела овог цевовода, чиме ће се укинути веза Р Вујића брдо - Р Доварје. Напомиње се да су Р Вујића брдо и Р Доварје веома блиско лоцирани, па је описано превезивање веома лако изводива мера. Реализациом ове мере, из

низводних тачака цевовода ϕ 500 (део главне дистрибуционе линије подсистема 1), вода ће се пласирати директно у Р Вујића брдо и у Р Доварје, уз напомену да овај пласман, у оба случаја, подразумева примену постојећих регулатора нивоа, лоцираних на улазу у Р Вујића брдо и Р Доварје. Вода дошла у Р Доварје ће се евакуисати ка Крчагову и Севојну, док ће Р Вујића брдо постати слепи крак, прикључен на подсистем 1. Да би се активирала запремина овог резервоара, решењем је предвиђена изградња одговарајућег евакуационог цевовода ϕ 300, дужине 700 m, уз његово повезивање са постојећим разводом на подручју подсистема 1, лоцираном на котима нижим од 440 mnm. Ради се о делу дистрибуције подсистема 1, који је сувише ниско лоциран, у односу на коте дистрибуционог резервоара, из кога добија воду, у постојећим условима (Р Церовића брдо - 500/504 mnm). У условима без редуцира притиска на узводном делу подсистема 1, део мреже лоциран испод коте 440 mnm ће остати да функционише у режиму нерегуларно високих притисака. Како су карактеристичне коте Р Вујића брдо (460/467 mnm) одговарајуће за снабдевање потрошача испод коте 440 mnm, прикључењем овог дела мреже на Р Вујића брдо, решиће се проблем одговарајућих високих притиска. Истовремено, по описаном прикључењу, биће неопходно затворити све постојеће везе мреже лоциране испод коте 440 mnm, са остатком дистрибуционог развода, на подручју подсистема 1. Овом мером, која подразумева активирање капацитета Р Вујића брдо за изравнање дотицаја / потрошње на делу подсистема 1, додатно ће се растеретити Р Церовића брдо. Реализацијом описане мере, слично решењу на подручју Севојна, Р Вујића брдо ће постати прекидна комора, на потезу Р Церовића брдо – ниско подручје подсистема 1.

Активирање резервоара “Бело гробље” – стари/нови је решено у смислу претварања ових објеката у капацитете за пласман у високо централно подручје (није обухваћено овим елаборатом). Наиме, водостански тип прикључења ових објеката на главни дистрибуциони цевовод ϕ 600/ ϕ 500 подсистема 1 је неповољан у мери која онемогућује повратан пласман из ових објеката у мрежу подсистема 1, на свим анализираним моделима (којима су симулирана различита карактеристична стања постојећег система). Уосталом, због перманентне немогућности повратног пласмана у дистрибуцију, резервоари “Бело гробље” стари/нови су искључени из рада реалног система. У наведеним околностима, али и због потребе да се врши одређен пласман у високо подручје (о којем овде није било речи, али које је, као и целокупан систем, детаљно разматрано Генералним пројектом) дефинисано је решење које подразумева опстанак Р Бело гробље – стари (нижи објекат) у раду система у смислу претварања овог објекта у усисни базен за пумпање у високо подручје. Истовремено, Р Бело гробље – нови, као резервоарски капацитет се напушта, а одговарајући објекат ће се искористити за смештај пумпних агрегата и пратеће опреме.

Ефекти реализације мера побољшања су, у облику одговарајућих дијаграма промене појединих параметара рада система, приказани у наставку.



Слика 4. Дијаграми рада система после реализације мера побољшања

Рекапитулација описаних мера побољшања рада система се своди на изградњу двају цевовода: $\phi 400$ ($L = 1.500$ m) и $\phi 300$ ($L = 700$ m). Преостале мере (укидање редуцира, повезивања на кратком потезу, затварање појединих цевних веза) су толико малог обима, да нису ни ушле у одговарајући предмер и предрачун радова, у Генералном пројекту. Претпоставља се да овде није неопходан приказ посебне техно – економске анализе, која би упутила на оправданост предложених мера побољшања. Истовремено, ефекти реализације

описаних мера су толики, да је карактер система у потпуности измењен: подзонирање двају подсистема, укидање трећег, укључење постојећих резервоара у рад система са потпуно измењеном функцијом, у односу на постојеће стање, активирање реализованог резервоарског простора, уз, истовремено, растерећење јединог резервоара (у скупу свих третираних) са регуларним функционисањем у постојећем систему (Р Церовића брдо). При томе, горе наведени циљеви побољшања су постигнути, уз видљиве резултате.

У наведеном је садржан смисао озбиљне анализе система, применом симулационог моделирања: дефинисање узрочно – последичних веза, као основе за дијагностику, разматрање свих карактеристичних стања система, регуларних и нерегуларних, ради прецизног дијагностификовања и варијантна анализа и избор предлога мера побољшања рада система, у условима постојеће потрошње, са видљивим и нумерички дефинисаним ефектима. У уводном делу овог елабората је наведено да је сваки систем јединствен у мери која не признаје универзалне рецепте, за дефинисање одређених решења. У том смислу, ни овде не може бити речи о правилима која би требало да упуте на пројекцију укључења виталног објекта у рад система. Али, горе описано решење побољшања рада дела ужичке дистрибуције, као и небројени примери из пројектантске праксе, упућују на одређена упрошћења модела снабдевања водом, као начина који омогућава пуно коришћење капацитета. Наиме, горе је видљиво да резервоари централног дела Ужица могу да функционишу у складу са својим капацитетима тек када се умање ефекти међусобног утицаја. У подсистему 1, у постојећим условима, у раду би требало да учествују 4 објекта. Али, показало се да у реалном систему (као и на одговарајућим моделима постојећег стања), у функцији је само један, и то резервоар на ППВ.

Тек када је систем разбијен на више подсистема, у којима функционишу највише два витална објекта, постојећи (реализовани) капацитети су могли да се користе у пуној мери. Ако одређено генерално правило ове игре постоји, оно је садржано у предлогу да се пројектују (под)системи са највише два витална објекта у раду посматраног (под)система. Овде није реч о објектима за прихват воде из посматраног система и даљу евакуацију у суседна подручја (број оваквих објеката, прикључених на посматрани систем, може бити и већи), већ о објектима предвиђеним за изравнање у посматраном (под)систему. Због стварања неповољног међусобног утицаја, који ограничава капацитете, за трећи витални објекат, у посматраном (под)систему са већ реализована два таква објекта (резервоар - резервоар или резервоар - пумпна станица), једноставно, нема места.

4. Литература

- [1] Генерални пројекат снабдевања водом насеља општине Ужице Институт за водопривреду “Јарослав Черни”, 2011.
- [2] Генерални пројекат РВС Источни Срем Институт за водопривреду “Јарослав Черни”, 2015.

- [3] Генерални пројекат снабдевања водом насеља општине Бајина Башта Институт за водопривреду “Јарослав Черни”, 2012.
- [4] Генерални пројекат снабдевања водом насеља општине Пожега, Институт за водопривреду “Јарослав Черни”, 2010.
- [5] Главни пројекат Регионалног водовода “Макиш – Младеновац” – етапе IV, V и VI, Институт за водопривреду “Јарослав Черни”, 2008.
- [6] Генерални пројекат снабдевања водом насеља општине Пожаревац, Институт за водопривреду “Јарослав Черни”, 2007.
- [7] Идејни пројекат РВС “Лопатница”, Институт за водопривреду “Јарослав Черни”, 2006.
- [8] Идејни пројекат Регионалног водовода “Макиш – Младеновац”, Институт за водопривреду “Јарослав Черни”, 2006.

ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКИ ИЗБОР ТЕХНОЛОГИЈЕ ИЗВОЂЕЊА ВОДОВОДНИХ ДЕОНИЦА ОД ЗУЧКЕ КАПИЈЕ ДО НАСЕЉА КАЛУЂЕРИЦА

MULTI CRITERIA SELECTION TECHNOLOGY OF IMPLEMENTATION OF WATER SECTION ZUČKA KAPIJA TO SETTLEMENTS KALUĐERICA

ИВАН МИЛОЈКОВИЋ¹, МАРКО ЉУБОЈА²,
НИКОЛА РАДОЈЛОВИЋ³

Резиме: Добра решења за снабдевање пројектовање и грађење водовода подразумевају адекватан избор технологије која се примењује са адекватним системом цеви. Следећи поступак представља избор адекватног цевовода који би био стабилан у односу на поплаве, клизишта и земљотресе. У случају главног водоводног цевовода Ø 800 Зучка Капија до насеља Калуђерица у овом раду описује се процедура за избор врсте цеви које су усвојене у пројектовању и са којим је изграђен овај водовод. Аутори су користили савремену PROMETHEE методу како би реалније сагледали услове рада и одржавања водоводних система. Резултат избора врсте водоводне цеви је дуктилни цевовод Ø800.

Кључне речи: оптимизација, водовод, PROMETHEE

Abstract: A good solution for supplying the design and construction of water supply systems include adequate choice of technology that is applied with an adequate system of pipes. The following procedure presents a selection of adequate pipeline which would be stable compared to floods, landslides and earthquakes. In the case of main water pipeline Ø 800 Zučka kapija to the settlement Kaluđerica, this paper describes the procedure for the selection of types of pipes which were adopted in the design and with whom he built the water pipe. The authors used modern PROMETHEE method to realistically comprehend the conditions of operation and maintenance of water supply systems. The result of selecting the type of water pipe is ductile pipeline Ø800.

Key words: optimization, water supply, PROMETHEE

1. Увод

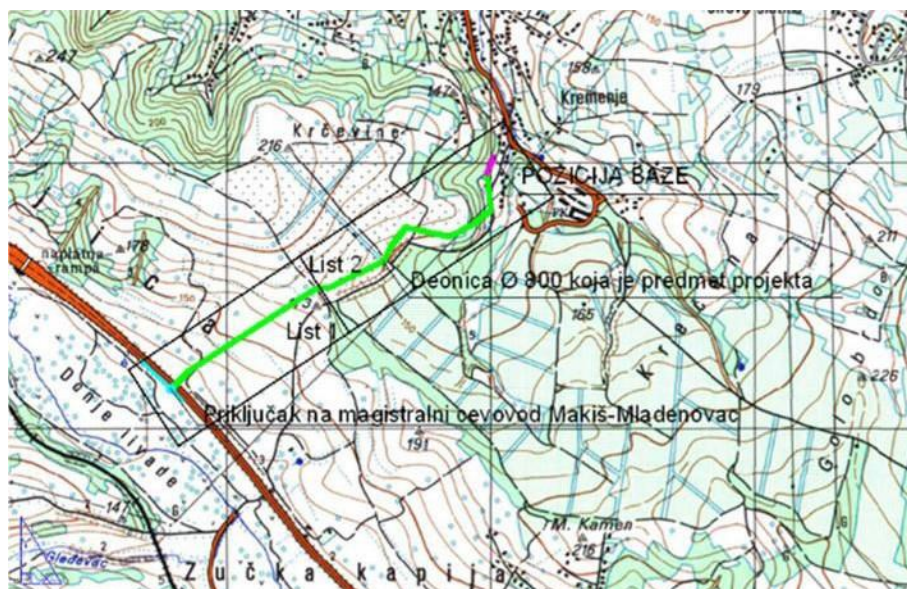
Функција циља у следећој процедури је избор адекватног цевовода који би

¹мр Иван Милојковић, дипл. инж. грађ, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Јарослава Черног 80, Београд

²Марко Љубоја, дипл. инж. грађ, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Јарослава Черног 80, Београд

³Никола Радојловић, дипл. инж. грађ, ГП „Градитељ НС“, Руменачки пут 2, Нови Сад

био стабилан у односу на поплаве, клизишта и земљотресе. У случају цевовода неопходно је изабрати одговарајући тип цевовода који би био отпоран према различитим утицајима [3], [6], [7], [8], [10]. У случају главног водоводног цевовода Ø 800 Зучка Капија - насеље Калуђерица [5] у овом раду описује се процедура за избор врсте цеви које су усвојене у пројектовању и са којима је изграђен овај водовод. Аутори су користили савремену MCDS PROMETHEE методу како би реалније сагледали услове рада и одржавања водоводних система. Резултат избора врсте водоводне цеви је дуктилни цевовод Ø800 [2]. Предмет овог рада је део пројектованог главног цевовода који повезује регионални систем водоснабдевања Макиш-Младеновац (км 14 + 374 - код шахт В8), за повезивање са претходно завршеним делом водоводног система, приказано на слици 1.



Слика 1. Део пројектованог главног цевовода за повезивање регионалног водовода

Распоред трасе водовода и пречник су претходно дефинисани у планској и техничкој документације за град Београд у Србији. Један од тих пројеката је и "Главни пројекат снабдевања водом насеља Калуђерица – шира просторна целина Књига I Цевовод Зучка капија – Резервоар Калуђерица I Свеска 1 Цевовод Зучка капија - граница ДУП-а насеља Калуђерица", Институт за водопривреду "Јарослав Черни", Београд 2003. на основу којег је израђен и Главни пројекат за извођење [5]. Цевовод је пројектован и направљен од дуктилних цеви. На траси цевовода предвиђена је израда два шахта за испуштања, један за ваздушни вентил и један за секторски вентил. Дужина секција је 1593,84 m.

Коте на траси цевовода имају вредности од 110 до 170 mm и површина терена је валовита. То указује да су се у геолошкој историји догађала мања клизања. У садашњим условима, терен је стабилан.

2. Метода и експеримент

Visual PROMETHEE (визуелна PROMETHEE) и GAIA (ГАИА) су више-критеријумске методе доношења одлука (MCDA). PROMETHEE је скраћеница од Preference Ranking Organization Method for the Enrichment of Evaluations (Метода за обогаћивање евалуација организације рангирања преференције). GAIA је скраћеница од Graphical Analysis for Interactive Aid (графичка анализа за интерактивну помоћ).

MCDA је скраћеница од Multi Criteria Decision Aid (Вишекритеријумска помоћ за одлучивање). PROMETHEE и GAIA методе могу помоћи инжењерима да реше многе проблеме [1], [4], [9]. У овом случају, алтернативна решења су различите врсте цевног материјала, приликом избора цеви, а критеријуми и врсте цеви су приказани у табели 1.

3. Резултати и дискусија

Услови за пројектовање спољне водоводне мреже ЈКП "Београдски водовод и канализација" дају оквире пројектовања водоводне мреже на датој локацији.

Главни пројекат је припремљен у складу са захтевима за пројектовање и важећим техничким прописима за ову врсту посла. На слици 2 може се видети градилиште на почетку деонице и закључено је да је могуће његово добро одржавање.

Дуктилне цеви су веома отпорне на механичке и хемијске утицаје. На ширем подручју трасе ценовода је у различитим периодима и различитим поводом, регистровано више појава активних и умирених клизишта.



Слика 2. Поглед на градилиште (лево) и предности током монтаже дуктилних цеви (десно)

Тестови отпорности разних цеви за снабдевање водом показују да су дуктилне цеви највише отпорне на хабање. Ови тестови су изведени у складу са стандардом DIN EN 295-3 и DIN 19565-1.

Слика 2 приказује предност приликом монтаже и демонтаже дуктилних цеви у примени нове развијене методе монтаже.

Табела 1. Део улазних података коришћених у моделу

Акције	Вредности критеријума функције							
	1. Трајност цеви	2. Корозија и заштита од хабања	3. Дужина сегментата цеви	4. Погодност за одржавање цевовода	5. Погодност са становишта пројектовања цевовода	6. Отпорност на падавине	7. Отпорност на поплаве	8. Отпорност на клизишта
	бод	2 – добар 1 – средњи 0 – лош	m	бод	бод	бод	бод	бод
а) Полиетилен високе густине (ПЕХД)	9	0	6.0	9	10	8	9	9
б) Полиестер	9	0	6.0	9	9	8	8	8
ц) Дуктил	10	2	6.0	10	10	10	10	10
д) Челик	6	2	6.0	5	6	10	9	9
е) Армирани бетон	7	1	2.0	6	4	10	9	5
Екстремизација	max	max	max	max	max	max	max	max

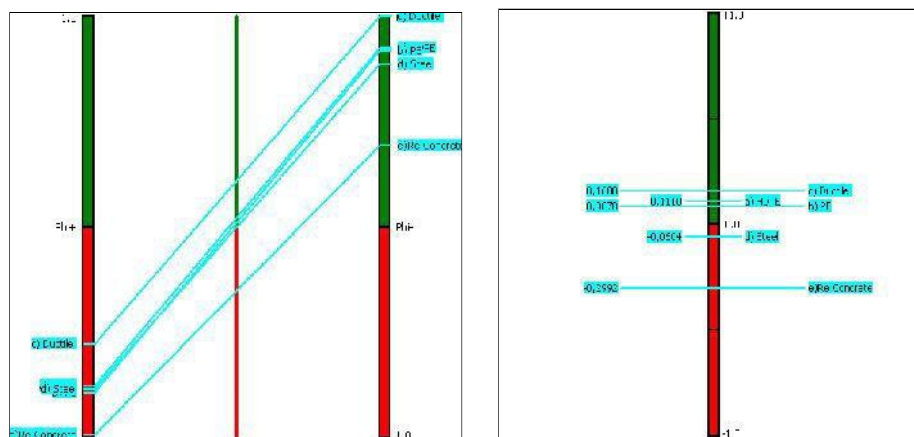
PROMETHEE I и PROMETHEE II Делимично рангирање приказано је на слици 3, крајње лева трака показује рангирање акција према Φ_i^+ : ц) дуктил на врху, иза које следи а) полиетилен високе густине (ПЕНД), б) полиестер, д) челик и е) армирани бетон

Крајње десна трака показује рангирање према Φ_i^- : ц) дуктил и даље на врху, а следи: а) полиетилен високе густине (ПЕНД), б) полиестер, д) челик и е) армирани бетон.

Можемо закључити да:

- ц) Дуктил је пожељан више у односу на све друге цеви .
- ц) Дуктил, а), полиетилен високе густине (ПЕНД) и б) полиестер су на врху.
- Све врсте цеви су упоредиве јер имају сличну оцену о Φ_i^+ и Φ_i^-

- ц) Дуктил, а), полиетилен високе густине (ПЕНД) и б) полиестер су близу једна другој.
- д) Челик је гори материјал према резултату Φ_i , Φ_{i+} и Φ_{i-} : од ц) од дуктила, а), полиетилена високе густине (ПЕНД) и б) полиестера који су близу један другоме.
- е) Армирани бетон је гори од свих других материјала



Слика 3. PROMETHEE рангирање I – (лево) и PROMETHEE рангирање II – (десно)

4. Закључна разматрања

Резултат избора процеса је тип водоводних цеви од дуктила за главни водоводни цевовод \varnothing 800 Зучка Капија ка насељу Калуђерица. Дуктил, полиетилен високе густине (ПЕНД) и полиестер су на врху на ранг листи. Све цеви од различитих материјала се могу поредити јер имају сличну оцену $\Phi_i +$ и $\Phi_i -$ у методи PROMETHEE. Аутори су у поступку за избор адекватног цевовода користили и критеријумске функције отпорности на: поплаве, клизишта и земљотресе и добили су прихватљиво решење.

5. Захвалница

Аутори се захваљују Министарству просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије на подршци у реализацији пројекта ТР 37 014 захваљујући којој је спроведено и ово истраживање.

6. 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] Ductile iron pipesystems for drinking water. TIROLER ROHRE GMBH, Innsbrucker Strasse 51, 6060 Hall in Tirol, Austria, 2015.

- [3] Jevtic M, Milojkovic I, Stojnic N, Research of the performance of pulse electrohydrodynamics in blockage removal, *Water Science & Technology*, 64.1, 102-108, 2011.
- [4] Kessili A, Benmamar S, Prioritizing sewer rehabilitation projects using AHP-PROMETHEE II ranking method. *Water Science & Technology*, 73(2), 283–291, 2016.
- [5] Main project pipeline \varnothing 800 from Zučka kapija to settlements Kaluđerica. Eko - water project Belgrade, Belgrade, 2014.
- [6] Milojković, I, Despotović J, Popin K, 2015a Model for planning maintenance of sewerage networks based on external inspection. IWA Balkan Young Water Professionals 2015, 10-12 May 2015, Thessaloniki, Greece, Publisher: Hellenic Water Association, 76-80, 2015.
- [7] Milojković I, Despotović J, Karanović I, 2015b Model for Maintenance of Sewerage System based on Inspection. IWA 7th Eastern European Young Water Professionals Conference, Belgrade, Serbia, Publisher: IWA - International Water Association, 538-543, 17-19 September 2015.
- [8] Milojković I, Pusara N, Bejatovic S, Kröpf R, 2015c Modeling of the pipe material selection for the protection of groundwater mining dumps, X International Symposium on Recycling Technologies and Sustainable Development, Bor, Serbia, Publisher: University of Belgrade – Technical faculty Bor, Editor: Prof. dr Zoran Markovic, ISBN 978-86-6305-037-2 86-92, 2015.
- [9] Roozbahani A, Zahraie B, Tabesh M, PROMETHEE with Precedence Order in the Criteria (PPOC) as a New Group Decision Making Aid: An Application in Urban Water Supply Management. *Water Resources Management*, 26(12), 3581–3599, 2012.
- [10] 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.

РЕЗЕРВЕ ПОДЗЕМНИХ ВОДА ИЗВОРИШТА ЗА ЈАВНО ВОДОСНАБДЕВАЊЕ РАШКЕ

GROUNDWATER RESERVES OF WATER SOURCES FOR PUBLIC WATER SUPPLY IN RAŠKA MUNICIPALITY

МИЛОШ ЗОРИЋ¹, ЗОРАН РАДЕНКОВИЋ²

Резиме: Водоснабдевање насеља у Општини Рашка одвија се захватањем подземних вода на простору неколико изворишта, као и површинских вода неколико водотока. У периоду 2013-2014. изведена су детаљна хидрогеолошка истраживања у циљу дефинисања резерви подземних вода на 4 изворишта са којих се водом снабдевају Рашка, Баљевац, Јошаничка бања, Биљановац и неколико мањих насеља у општини. Елаборатима о резервама дефинисане су и оверене резерве за изворишта: Бадањ, Брвеница поткоп, Кокоровац и Вележ. Извориште Вележ каптира издан формирану у оквиру интергрануларне и карстно-пукотинске средине, док остала каптирају пукотинску издан. Оверене билансне резерве изворишта су: Кокоровац 2 l/s, Вележ 10,4 l/s, Бадањ 20,4 l/s и Брвеница поткоп 24,8 l/s.

Кључне речи: подземне воде, водоснабдевање, извориште

Abstract: Water supply of the settlements in the municipality of Raška takes place tapping of groundwater in the area of several springs and surface water several watercourses. In the period from 2013 to 2014. conducted the detailed hydrogeological investigations to define the groundwater reserves in the 4 springs that provide water supply Raška, Baljevac, Jošanička banja, Biljanovac and several smaller settlements in the municipality. Elaborates on reserves are defined and certified reserves for springs: Badanj, Brvenica potkop, Kokorovac and Velež. The source Velež collects groundwater from intergranular and karstic-fracture aquifer, while the other springs collect groundwater from fracture aquifer. Certified balance reserves of water sources are: Kokorovac 2 l/s, Velež 10,4 l/s, Badanj 20,4 l/s and Brvenica potkop 24,8 l/s.

Key words: groundwater, water supply, water source

1. Увод

Јавно водоснабдевање Рашке и већих насеља у општини одвија се организованим захватањем подземних и површинских вода на неколико изворишта

¹Милош Зорић, дипл. инж. геол, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Јарослава Черног 80, Београд

²Зоран Раденковић, дипл. инж. геол, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Јарослава Черног 80, Београд

Највећи број корисника јавног водоснабдевања на територији општине Рашка користи подземне воде захваћене на простору изворишта Бадањ, Брвеница поткоп, Кокоровац и Вележ, као и површинске воде које се захватају из тока реке Брвенице. Такође, за водоснабдевање ТЦ Копаоник користе се површинске воде водотокова Самоковке, Драганског потока и Казновског бачишта, које се прерађују на ППВ Копаоник.

Подземне воде на извориштима Бадањ, Вележ и Кокоровац захватају се већим бројем каптажа, односно на сваком од ових изворишта налази се неколико каптажних грађевина којима се прихватају подземне воде, будући да су сва три изворишта разбијеног типа. Воде наведених изворишта се без додатне прераде, само уз дезинфекцију хлорисањем, допремају до крајњих потрошача. На изворишту Брвеница поткоп подземне воде представљају дренажне воде напуштеног рудника магнезита. Ове воде су, након затварања рудника услед зарушавања просторија после разорног земљотреса 80-их година XX века, почеле да се користе за јавно водоснабдевање. Воде захваћене у поткопу се заједно са површинским водама Брвенице транспортују до ППВ Беоци где се врши њихова прерада и даља испорука потрошачима.

2. Геолошке и хидрогеолошке карактеристике простора изворишта

Изворишта подземних вода која су била предмет анализе, каптирају издани које су формиране у стенама са пукотинским типом порозности (Бадањ, Кокоровац и Брвеница поткоп) и интергрануларним и карстно-пукотинским типом порозности (Вележ).

Извориште Бадањ налази се 10-ак километара источно од Рашке, на падинама Копаоника, односно подно Јадовника северозападног дела копаоничког масива, на преко 900 mnm. Каптиране су подземне воде (издан) у оквиру пукотинске водоносне средине. Каптажни објекти налазе се у контактної зони серпентинита и харцбургита (палеозоик), који представљају колектор подземних вода, са дацито-андезитима (терцијер), који представљају хидрогеолошку баријеру. На изворишту су изграђене 4 каптаже, којима се подземне воде захватају и потом гравитационо транспортују до Рашке и успутних села. Издан је са слободним нивоом.

Извориште Кокоровац налази се неколико километара југоисточно од Јошаничке бање, на обронцима Копаоника, односно делу масива који носи назив Бањски Копаоник. Само извориште налази се на коти од око 1000 mnm. На локацији изворишта „Кокоровац“ налази се разбијено извориште, а воде се захватају преко два каптажна објекта која су у потпуности укопана, као и збирне каптаже. Водоносну средину са пукотинским типом порозности представљају гранитоидне стене терцијерне старости: гранодиорити и кварцдиорити, испуцали у приповршинској зони и у раседним зонама. У овим стенама су формиране издани мале издашности, углавном са слободним нивоом. Појаве истицања подземне воде су у контактної зони испуцалих гранитоидних стена и практично водонепропусних палеозојских шкриљаца.

Извориште Брвеница поткоп налази се на око 10 km северозападно од Рашке, у оквиру масива Зимовника, који представља обод Голије, на коти од око 470 mnm. Извориште представља напуштени рудник магнезита у који истичу подземне воде из дела масива Зимовника у коме су изведени рударски објекти.

Издан која се дренира и прикупља системом дренажних канала формирана је у пукотинском и прслинском систему палеозојских ултрабазичних стена, односно у серпентинитима и харцбургитима и углавном је са слободним нивоом. Подземне воде овог изворишта се у оближњој црпној станици мешају са водама захваћеним из реке Брвенице, одакле се транспортују до ППВ „Беоци“.

Извориште Вележ налази се на око 3 km јужно од Јошаничке бање, у подножју Копанника, на коти од око 700 mnm. Извориште Вележ састоји се од више каптажних објеката. Каптаже „Граб 1, 2, 3 и 4“ налазе се у долини реке Самоковке и дренирају воде из интергрануларне средине и околних стена са карстно-пукотинском порозношћу, представљених палеозојским мермерима и калкшистима.

Каптажа „Студенац“, која се налази неколико стотина метара низводно од поменутих каптажа, каптира воде карстно-пукотинске издани формиране у оквиру палеозојских мермера. На локацији каптаже „Студенац“ налази се сабирна комора где се воде мешају са гравитационо транспортованом водом захваћеном каптажама „Граб 1, 2, 3, 4“, одакле се, такође, гравитационо транспортују према Јошаничкој бањи.

3. Методологија истраживања

Испитивања режима подземних вода обављена су у периоду јун 2013 - јул 2014. Методе истраживања подразумевале су:

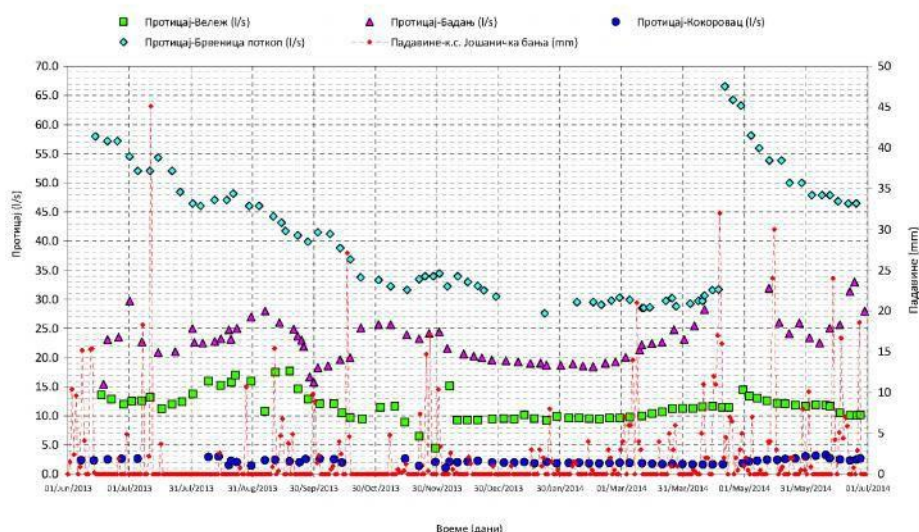
- хидрогеолошко реконосцирање и картирање терена предметних изворишта,
- мерење издашности извора, односно мерење протицаја на цевоводима и утврђивање биланса подземних вода изворишта Бадањ, Кокоровац и Вележ, где су уграђени водомери, док су на изворишту Брвеница поткоп мерења вршена запреминском методом и хидрометријским крилом,
- испитивање и анализу квалитета подземних вода (анализе „В“ обима, испитивање физичко-хемијских, микробиолошких и радиолошких параметара) на извориштима Бадањ, Кокоровац, Вележ и Брвеница поткоп.

4. Приказ резерви подземних вода анализираних изворишта

Прорачун резерви подземних вода изведен је према важећем Правилнику о класификацији и категоризацији резерви подземних вода и вођењу евиденције о њима (Сл. гл. 34/79). Резерве подземних вода предметних изворишта сврстане су у Б и Ц₁ категорију.

Изворишта подземних вода која су приказана у овом раду и за која су урађени елаборати о резервама, као што је речено, каптирају издани формиране углавном у пукотинској или карстно-пукотинској порозној средини. Имајући то у виду, издани у овим срединама формирају се у оквиру система пукотина и прелина. Испуцалост стенских маса последица је удруженог деловања ендогених и егзогених сила. Степен испуцалости стена опада са дужином, тако да се интензивнија испуцалост јавља у приповршинској зони, док је у дубљим деловима терена она у највећој мери везана за одређене раседне зоне и структуре.

Прихрањивање анализираних издани врши се доминантно инфилтрацијом атмосферских падавина, тако да и резерве подземних вода директно зависе од количине инфилтрираних вода и филтрационих карактеристика средине. Такође, прихрањивање се може вршити и подземним дотицајем из дубљих структура али је овај процес недовољно познат. Дренаже издани се, у највећој мери, врши слободним истицањем преко већег броја слабијих извора, дифузивним истицањем, као и евапотранспирацијом.



Слика 1. Дијаграм режимских осматрања истицања подземних вода на извориштима Бадањ, Кокоровац, Вележ и Брвеница поткоп

Резерве подземних вода анализираних изворишта Бадањ, Кокоровац, Вележ и Брвеница поткоп одређене су на основу осматрања режима издани током једног хидролошког циклуса (табела 1). Будући да је реч углавном о извориштима у пукотинској, односно карстно-пукотинској порозној средини, праћење режима подразумевало је мерење издашности извора сваких 5-7 дана у просеку, као и праћење квалитативних својстава воде. Резерве су потврђене са 4 комплетне хемијске анализе, „В“ обима, чиме је доказан константан хемијски састав изданских вода. Дијаграм режимских осматрања са подацима за сва анализирана изворишта приказан је на слици 1.

У табели 1 дат је приказ резерви подземних вода узимајући у обзир критеријум прорачуна истих према Правилнику, који је усаглашен са ставовима Радне групе за утврђивање и оверу резерви подземних вода.

Табела 1. Приказ резерви подземних вода на извориштима Бадањ, Кокоровац, Вележ и Брвеница поткоп

Извориште/ Параметар	Бадањ	Кокоровац	Вележ	Брвеница поткоп
Минимални средњемесечни протицај (l/s)	18,7	1,7	8,6	27,6
Максимални средњемесечни протицај (l/s)	27,3	2,8	15,6	57,4
Просечни протицај (l/s)	22,7	2,2	11,6	40,9
90% мин. Месечног протицаја (l/s)	16,8 (Б кат.)	1,5 (Б кат.)	7,7 (Б кат.)	24,8 (Ц ₁)
90% просечног протицаја (l/s)	20,4 (Б+Ц ₁)	2,0 (Б+Ц ₁)	10,4 (Б+Ц ₁)	36,8
Хемијски тип	HCO ₃ -Mg	HCO ₃ -Ca	HCO ₃ -Ca	HCO ₃ -Mg

Према хемијском саставу, воде изворишта Бадањ припадају хидрокарбонатно-магнезијумском типу, са рН у области од неутралне ка базној средини, ниске минерализације, а према тврдоћи су меке. Измерене вредности температуре воде су у интервалу 5-14°C.

Анализирајући све физичко-хемијске параметре, закључује се да су вредности селена изнад МДК измерене у два узорка, као и арсена (врло мало изнад дозвољених вредности), док су повишене рН вредности измерене у сваком узорку. Остале вредности физичко-хемијског састава су у дозвољеним концентрацијама.

Воде изворишта Кокоровац припадају хидрокарбонатно-калцијумском типу, са рН у области од неутралне, ниске минерализације, а према тврдоћи су меке. Измерене вредности температуре воде су у интервалу 7-10°C. На основу свих анализираних физичко-хемијских параметара, закључује се да су вредности селена изнад МДК измерене у једном узорку. Остале вредности физичко-хемијског састава су у дозвољеним концентрацијама.

На основу хемијског састава, воде изворишта Вележ припадају хидрокарбонатно-калцијумском типу, са рН у области од неутралне, ниске минерализације, а према тврдоћи су меке. Измерене вредности температуре воде су

у интервалу 9-12°C. Према свим физичко-хемијским параметрима, закључује се да су вредности селена изнад МДК измерене у једном узорку. Остале вредности физичко-хемијског састава су у дозвољеним концентрацијама.

Према хемијском саставу, воде изворишта Брвеница поткоп припадају хидрокарбонатно-магнезијумском типу, са рН у области умерено базне, релативно ниске минерализације, а према тврдоћи су умерено тврде. Измерене вредности температуре воде су у интервалу 13-17°C. Анализирајући све физичко-хемијске параметре, уочава се да су вредности селена и магнезијума изнад МДК измерене у три узорка, док су повишене рН вредности измерене у сваком узорку. Остале вредности физичко-хемијског састава су у дозвољеним концентрацијама.

5. Закључак

Резерве подземних вода на простору предметних изворишта, односно њихова издашност, углавном су под доминантним утицајем количине падавина у сливном подручју и у складу са акумулационом способношћу испуцале зоне. Осматрањима током једног хидролошког циклуса, доказани су релативно стабилни протицаји, са вредностима односа минималног и максималног протицаја до 1:3, са присутним сезонским колебањима издашности извора. Будући да је регистровани максимални протицај извора забележен током периода са изузетно обилним падавинама (март-мај 2014.), у виду кише и снега, он заиста представља максимално могућу издашност ресурса (акумулациона способност условљена запремином пора испуцалих стена). Све остало, у условима засићене средине, одлази на површински отицај.

Квалитет подземних вода је током осмог хидролошког циклуса релативно константан. Мања одступања појединих параметара физичко-хемијског састава представљају резултат природних процеса, који се одвијају кретањем подземних вода кроз стене одређеног карактеристичног петрографског састава, као и могућих појава орудњења.

Даља истраживања на простору анализираних изворишта треба да буду усмерена у правцу континуираног праћења режима подземних вода и настава активности које су спроведене и за потребе израде Елабората о резервама за наведена изворишта. Такође, настава активности треба да чини основу за превођење резерви у вишу категорију.

6. Литература

- [1] Снабдевање Рашке питком изворском водом-главни пројекат, Водопривредна организација „Чачак“ - Чачак, 1969.
- [2] Снабдевање водом насеља Рашка-допуна пројекта, Водопривредна организација „Чачак“ - Чачак, 1972.
- [3] Главни пројекат за снабдевање водом Јошаничке бање, Водопривредна организација „Чачак“ - Чачак, 1972.

- [4] Главни пројекат за снабдевање водом насеља Баљевац и Јошаничка бања – проширење изворишта, Водопривредна организација „Чачак“- Чачак, 1973.
- [5] Летић Г. и остали, Пројекат зона санитарне заштите изворишта изданских вода „Брвеница“, „Бадањ“, „Кокоровац“ и „Вележ“ (Општина Рашка), Гецо-инжењеринг, 2008.
- [6] Раденковић З. и остали, Елаборат о резервама подземних вода изворишта „Бадањ“ за водоснабдевање Рашке, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“ Београд 2014.
- [7] Зорић М. и остали, Елаборат о резервама подземних вода изворишта „Кокоровац“ за водоснабдевање Рашке, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“ Београд, 2014.
- [8] Раденковић З. и остали, Елаборат о резервама подземних вода изворишта „Вележ“ за водоснабдевање Рашке, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“ Београд, 2014.
- [9] Зорић М. и остали, Елаборат о резервама подземних вода изворишта „Брвеница поткоп“ у општини Рашка, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“ Београд, 2014.

3D MATEMATIČKI MODEL IZVORIŠTA „DOMAŽIĆ“ OPŠTINA GRADAČAC, BIH

3D MATHEMATICAL MODEL WATER SOURCE "DOMAŽIĆ" MUNICIPALITY OF GRADAČAC, B and H

NIKOLA NIKOLIĆ¹, DRAGAN KALUĐEROVIĆ²,
VASO NOVAKOVIĆ³, ESAD ORUČ⁴

Rezime: Dodatni hidrogeološki istražni radovi su izvedeni na izvorištu podzemne vode „Domažić“, kod Gradačca u Bosni i Hercegovini, tokom 2015. i 2016. godine. Tom prilikom je izveden jedan novi bunar, dva pjezometra i obavljeno testiranje bunara. Cilj izvedenih radova je bio da definišu kapacitet samog izvorišta. Kroz izradu 3D matematičkog modela data je ocena da li izvorište može dati 120 l/s vode, a rezultati su prikazani u ovom radu.

Ključne reči: izvorište, podzemna voda, kapacitet, matematički model

Abstract: Additional hydrogeological exploration works were carried out at the source of groundwater “Domažić“, Municipality of Gradačac in Bosnia and Herzegovina, during 2015 and 2016. On these occasions a new well was performed, as well as two piezometers and a test of water wells. The aim of these works was to define the capacity of the water source. The creation of 3D mathematical model provided an assessment whether the water source can provide 120 l/s of water. The results of explorations are presented in this paper.

Key words: water source, groundwater, capacity, mathematical model

1. Uvod

Izvorište „Domažić“ se nalazi u jugoistočnom delu opštine Gradačac, na tro-međi opština Gradačac, Srebrenik i Brčko Distrikta (slika 1). Područje izvorišta „Domažić“ u samom podnožju brda Ormanica, predstavlja prelaz između severozapadnog oboda masiva Majevice i područja brčanske Posavine. Područje pripada slivu reke Save odnosno njene pritoke Tinje, podslivu Male Tinje (slika 1).

¹Nikola Nikolić, master inž. geol, IPIN, Institut za primijenjenu geologiju i vodinjering, Vidovdanska 48, Bijeljina, Bosna i Hercegovina

² dr Dragan Kaluđerović, dipl. inž. geol, Centar za primenjena naučna istraživanja u vodosnabdevanju i remedijaciji, Milutina Milankovića 120, Novi Beograd

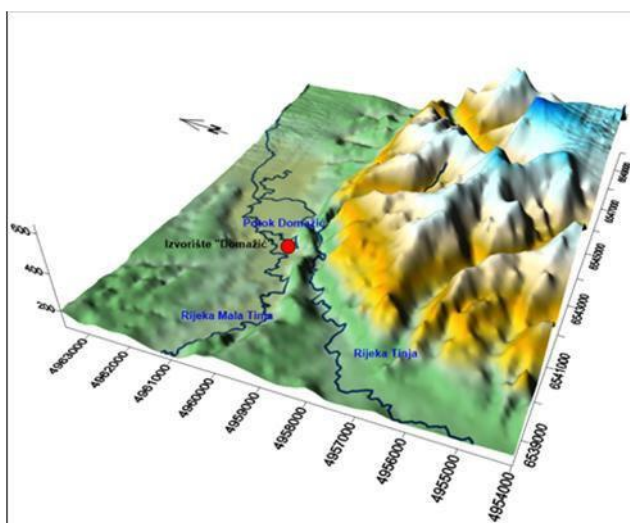
³ prof. dr Vaso Novaković, dipl. inž. geol, IPIN, Institut za primijenjenu geologiju i vodinjering, Vidovdanska 46, Bijeljina, Bosna i Hercegovina

⁴ mr Esad Oruč, dipl. inž. geol, Rudarski institut Tuzla, Rudarska 72, Tuzla, Bosna i Hercegovina



Slika 1. Geografska pozicija izvorišta Domažić

Izvorište „Domažić“ predstavlja disperznu zonu formiranja potoka Domažić, koji se nakon kratkog toka, uliva u Malu Tinju. Neposredno pored izvorišta prolazi pruga Brčko-Banovići. Razmatrano područje izvorišta „Domažić“ pripada severozapadnom obodu masiva Majevice (slika 2).



Slika 2. 3D prikaz površine terena šireg područja izvorišta „Domažić“

U geološkoj građi šireg područja izvorišta „Domažić“ izdvojene su stene paleogene, neogene i kvartarne starosti. Za samo izvorište su bitni sedimenti sarmata i badena, koji su vodonosni i generalno zaležu ka sever - severozapadu, dok ostale tvorevine najvećim delom imaju ulogu povlatnog ili podinskog izolatora.

Ovo područje je u prošlosti bilo predmet određenih hidrogeoloških istraživanja. Prvi radovi su izvedeni 1973. godine, kada su izvedeni bunari BV-1 i BV-1/1, koji su služili za vodosnabdevanje sela Vučkovci. Tokom 1995. godine, od strane NRC iz Norveške, izveden je bunar BH-1 za snabdevanje naselja Donji Hrgovi. Bunar

BV-2, izveden je 2005. godine, radi dobijanja dodatnih količina podzemne vode. Pored toga, na ovom području postoje i 3 piježometra.

Dodatna hidrogeološka istraživanja tokom 2015. i 2016. godine su obuhvatila izvođenje novog bunara BV-3 i dva nova piježometra, kao i izvođenje grupnog opitnog crpenja u trajanju od 30 dana i kontinuirano osmatranje nivoa podzemne vode u trajanju od 10 sedmica. 3D matematičkim modelom podzemnog toka izvorišta „Domažić“ je izvršeno dokazivanje kapaciteta izvorišta „Domažić“ od 120 l/s, a rezultati su prikazani u nastavku ovog rada.

2. Metode istraživanja

Hidrogeološka istraživanja prostora izvorišta „Domažić“ izvedena su tokom 2015. i 2016. godine bušenjem piježometarskih bušotina početnim prečnikom Ø 178 mm i 130 mm do konačne dubine 43,0 m (PD-2/1) i dubine 80 m (PD-4), kao i jednog eksploatacionog bunara BV-3 (prečnikom 620/444 mm) do dubine 90 m, zatim osmatranjem nivoa podzemne vode u trajanju od 10 nedelja, grupnim opitnim crpljenjem u trajanju od 30 dana i izradom 3D matematičkog modela akvifera.

Kontinuirano osmatranje nivoa podzemne vode vršeno je u periodu od 11.11.2015. do 18.1.2016. godine. Merenja nivoa podzemne vode su vršena 4 puta dnevno na bunarima BH-1, BV-1 i BV-2, kao i na piježometrima PD-1, PD-2/1 i PD-4. Test grupnog opitnog crpenja je trajao 30 dana i realizovan je u periodu 24.11-24.12.2015. godine.

Crpni objekti su bili bunar BV-2 sa prosečnim kapacitetom crpenja od 52 l/s i bunari BH-1 i BV-1 koji su radili uobičajnim kapacitetom, odnosno BH-1 11,1 l/s i bunar BV-1 kapacitetom 14,5 l/s. Merenje nivoa podzemne vode vršeno je na svim prethodno navedenim objektima.

Za formiranje konceptualnog modela i rasporeda slojeva podaci su dobijeni sa geoloških podloga, tumača Osnovne geološke karte [1-2] i podataka istraživanja [3].

Posmatrano od površine terena, korespondentni slojevi modela i terena su:

1. Prvi vodonepropusni sloj - predstavljen je povlatnim glinama, laporcima i zaglinjenim peskovima

2. Drugi vodonosni sloj - predstavljen je krečnjacima badena i sarmata

Debljine prva dva sloja određene su na osnovu izvedenih radova na izvorištu. Na osnovu profila datih rezultatima ranijih istraživanja, određene su dubine zaleganja slojeva. Korišćen je program za simulaciju strujanja podzemnih voda Groundwater Vistas verzija 6 uz korišćenje svih pratećih programskih dodataka koji služe kao pokretači simulacije modela za određeni vremenski period. U modelovanju podzemnog strujanja matematički model je predstavljen parcijalnim diferencijalnim jednačinama [4-10]. Osnovna jednačina matematičkog modela je predstavljena sledećom diferencijalnom jednačinom (1), koja prikazuje proces trodimenzionalnog kretanja podzemne vode konstantne gustine.

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_x \frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K_y \frac{\partial h}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_z \frac{\partial h}{\partial z}\right) \pm W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

gde su:

x, y, z - ose pravouglog koordinatnog sistema (m);

K_x, K_y, K_z - komponente koeficijenta filtracije (m/s);

H - pijeziometarski nivo (m);

W - zapreminski fluks (proticaj) po jedinici zapremine (S⁻¹);

S_s - koeficijent specifične izdašnost porozne sredine (L⁻¹); T

- vreme (s).

Rešenje jednačine se dobija kada algebarski izraz za h (x, y, z, t), koji predstavlja izvod od h po prostoru i vremenu, zadovoljava jednačinu, za date početne i granične uslove. Pošto su uglavnom uslovi složeniji rešenje se dobija upotrebom različitih numeričkih postupaka u toku matematičkog modelovanja za dobijanje aproksimativnih rešenja [11]. Najčešće primenijvana je metoda konačnih razlika kod koje je sistem strujanja podzemne vode opisan konačnim brojem diskretnih tačaka u prostoru i vremenu, dok su parcijalni diferencijali u jednačini zamenjeni razlikom pijeziometarskog nivoa između tačaka. Kada se ova jednačina uprosti dobija se sistem linearnih diferencijalnih jednačina čijim se rešenjem dobija vrednost nivoa podzemne vode u određenoj tački i u određenom vremenu [4-10].

Formiranje matematičkog modela na izvorištu „Domažić“ urađeno je kroz faze:

- prva faza je matematičko modelovanje metodom analitičkih elemenata i,
- druga faza je izrada numeričkog modela.

Matematičko modelovanje metodom analitičkih elemenata

Prvi korak izrade matematičkog modela je formiranje konceptualnog modela hidrogeološkog sistema. Ovim korakom vrši se uprošćavanje hidrogeološkog sistema u kome struji podzemna voda, kao i prikupljanje i obrada svih dostupnih podataka, tako da sistem može da se analizira. Izrada konceptualnog modela je od velikog značaja [6-8]. Numerička analiza sistema bazirana na lošem (ili pogrešnom) konceptualnom modelu ne može dati validne rezultate.

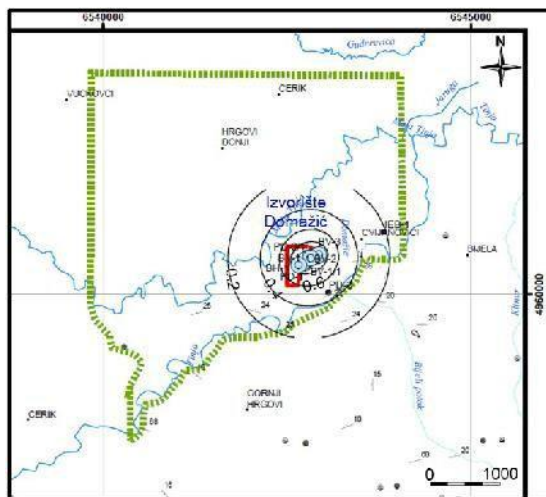
Kao prvi korak u formiranju konceptualnog modela je definisanje oblasti istraživanja (slika 3). U ovom slučaju, oblast istraživanja je znatno veća od same zone postojećeg izvorišta Domažić.

Ubačeni su podaci o kapacitetima bunara na ovom izvorištu:

- BV-2 = 50 l/s
- BV-3 = 50 l/s
- BV-1 = 14,5 l/s

- BH-1 = 11,1 l/s

U početku su korišćeni podaci ranijih istraživanja, tj. vrednosti koeficijenta filtracije su bile $K=1 \times 10^{-4}$ m/s, dok nisu obrađeni podaci grupnog opitnog crpenja, kada je dobijena srednja vrednost koeficijenta filtracije $K = 2 \times 10^{-4}$ m/s. Na osnovu ovih podataka dobijena su sniženja prikazana na slici 3.



Slika 3. Prikaz sniženja nivoa podzemne vode

Granice budućeg modela su određene na osnovu simulacije zadatih uslova u programu Aquifer Win 32.

Matematičko modelovanje primenom numeričkog modela

Ulazni podaci koji su korišćeni za formiranje su omogućili određivanje uticaja izvorišta. Oblast koju obuhvata model je 5 x 4,3 km. Na osnovu podataka o geološkoj građi terena, kao i hidrogeološkim karakteristikama terena, definisane su granice modela (slika 4). Južna granica modela predstavljena je kontaktom vodonosnih krečnjaka badena i sarmata sa vodonepropusnim sedimentima paleocena i donjeg eocena. Na jugu modela, se nalazi i reka Tinja, koja je simulirana kao granični uslov „reka“ (RIVER) sa velikom hidrauličkom provodljivošću, tako da se može smatrati konstantnim izvorom vode.

Na jugoistočnom delu terena, postoji kontakt sa krečnjacima koji se nalaze van modela, i samim tim je tu formirana granica Constant flux. Granica je zadata preko analitičkog elementa linijskog oblika, kroz koji postoji doticaj u model.

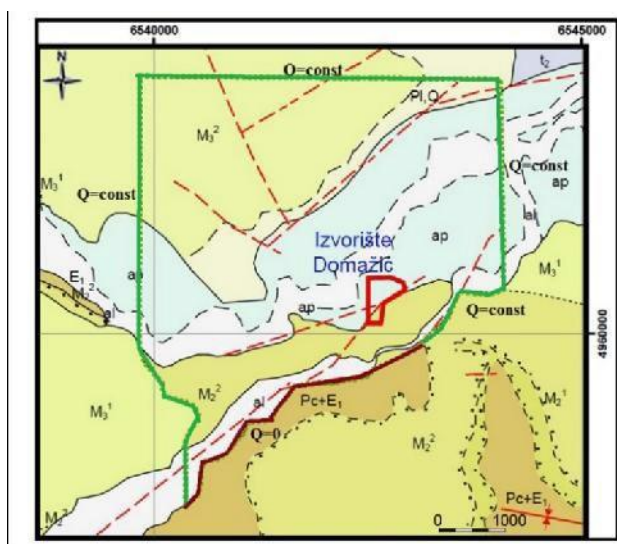
Severna granica modela je predstavljena kao Constant flux, tj. granica je fizički određena. Ona je takođe zadata kao analitički element linijskog oblika, i na njoj postoji konstantan oticaj iz modela.

Istočna i zapadna granica je razmatrana u dva slučaja. Prvi slučaj je bio kada su granice bile predstavljene kao vodonepropusne, odnosno, nije postojao proticaj kod

njih (Constant flux=0). U drugom slučaju, granice su bile predstavljene kao Constant flux, i postoji neki proticaj kroz njih.

Diskretizacija modela je urađena nakon toga. Površina modela podeljena je na polja ortogonalnog oblika, ali diskretizacija nije jednaka. Polja su dimenzija 50 x 50 m na obodu modela, a u zoni izvorišta 10x10 metara. Model ima 285 redova i 279 kolona.

Verikalna diskretizacija je urađena sa dva sloja. Prvi sloj u modelu je prikazan kao vodonepropusni slojevi panona i ponta, a delimično reprezentuje krečnjake koji su otvoreni na površini terena. Drugi sloj je sloj koji predstavlja vodonosni sloj i sastavljen je od krečnjaka badena i sarmata koji tonu prema severu. Na osnovu prethodnih istraživanja, došlo se do zaključka da se hidrogeološki sistem prihranjuje na više načina: infiltracijom iz reke Tinje, infiltracijom od padavina na delu na kojem je krečnjak otkriven na površini terena, kao i dotokom iz jugoistočnog dela. Pražnjenje sistema se vrši prirodnim oticajem na severu, zapadu, istoku i bunarima koji trenutno rade na izvorištu.



Slika 4. Granični uslovi modela

Legenda: Pc+E₁-Peščari i laporci; E₁-Fliš, sitnozrni do srednjozrni peščari sa alevrolitima i ređe laporima; M₁¹-sprudni masivni krečnjaci, slojeviti krečnjaci (akvifer); M₂²-Oolitni krečnjaci, peskoviti krečnjaci (akvifer); M₃³-Laporci masivni sa kongerijama; M₃³-peskovi, glinoviti peskovi, gline; t₂-Druga rečna terasa; al-Aluvijalni sedimenti predstavljeni šljunkovima, peskovima i glinama; ap-Aluvijalno-plavni sedimenti: siltovi i peskoviti siltovi

Početna vrednost koeficijenta filtracije iznosi $K=1 \times 10^{-4}$ m/s. Zadata je kao homogena vrednosti za ceo vodonosni sloj. Vrednosti neto prihranjivanja u zoni gde je krečnjak na površini terena uzete su kao osrednjene na godišnjem nivou i to 200 mm/god.

3. Rezultati i diskusija

3.1. Osmatranje nivoa podzemne vode

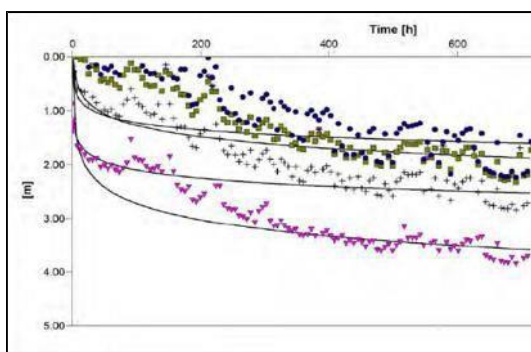
Osmatranja nivoa podzemne vode su pomogla pri izradi matematičkog modela. Dobijeni podaci pre testa crpenja su uneti u model. Neposredno pre starta testa crpenja, nivo podzemne vode na objektima je bio od 123,21 m na piježometru PD-2/1 do 123,70 m na piježometru PD-1, što je uključeno kasnije u rezultate modela i poslužilo kao uporedba dobijenih rezultata.

3.2. Test grupnog opitnog crpenja

Sprovođenje testa grupnog opitnog crpenja u trajanju od 30 dana i obradom podataka dobijenih po završetku su pomogli pri izradi matematičkog modela.

Da bi se dobio koeficijent filtracije, prvo je urađena obrada grupnog opita crpenja. U programu Aquifer Test urađena je obrada podataka. Dobijena je srednja vrednost koeficijenta filtracije $K=2 \times 10^{-4}$ m/s (slika 5 i tabela 1).

Nakon toga, ta vrednost je uneta u podatke modela i pristupilo se izradi matematičkog modela.



Slika 5. Grafik rezultata obrade grupnog testa crpenja

Tabela 1. Filtracioni parametri akvifera

Posmatrani objekat	Transmisivnost (m/s)	Koef. filtracije (m ² /s)	Koef. uskladištenja	Oznaka
PD-1	$1,45 \times 10^{-2}$	$1,21 \times 10^{-4}$	$5,06 \times 10^{-3}$	▼
PD-2/1	$2,88 \times 10^{-2}$	$2,40 \times 10^{-4}$	$1,28 \times 10^{-2}$	+
PD-4	$2,04 \times 10^{-2}$	$1,70 \times 10^{-4}$	$8,81 \times 10^{-3}$	■
BV-1/1	$3,22 \times 10^{-2}$	$2,66 \times 10^{-4}$	$2,88 \times 10^{-2}$	●
Prosečna vrednost	$2,40 \times 10^{-2}$	$2,00 \times 10^{-4}$	$1,39 \times 10^{-2}$	

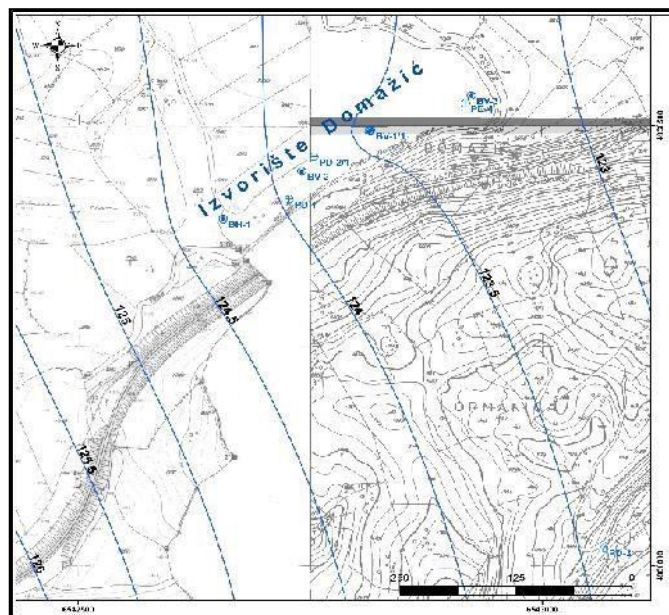
3.3. Rezultati izrade 3D matematičkog modela

Ovako formiran model nakon simulacije u programskom paketu Groundwater Vistas daje dobre rezultate, što pokazuje da je konceptualni model dobro formiran.

Pokazatelj uspešnosti simulacije bio je približan nivo podzemne vode u zoni izvorišta koji je zabeležen pre početka dugotrajnog opita grupnog crpenja bunara izvorišta “Domažić”. Izolinije nivoa podzemne vode dobijene simulacijom date su na slici 6.

Ovo je urađeno za varijantu kada su na istoku i zapadu granice urađene kao da nema proticaja na njima (Constant flux = 0).

Bilans modela je jasno pokazao dominantni izvor prihranjivanja izdani, a to je reka Tinja, koja ovu izdan prihranjuje količinom vode od 143 l/s, a u isto vreme iz ovog sistema u reku Tinju, nizvodno otiče 115,5 l/s. Ovo se objašnjava time da smer kretanje vode između reke i izdani zavisi od hipsometrijskog odnosa nivoa podzemnih voda i nivoa u reci. Ukoliko je nivo u reci viši od nivoa podzemnih voda (zapadno od izvorišta “Domažić”), tada voda teče iz reke u izdan. Kada je nivo podzemnih voda viši od nivoa u reci (istočno od izvorišta “Domažić”), tada dolazi do tečenja vode iz izdani u reku.

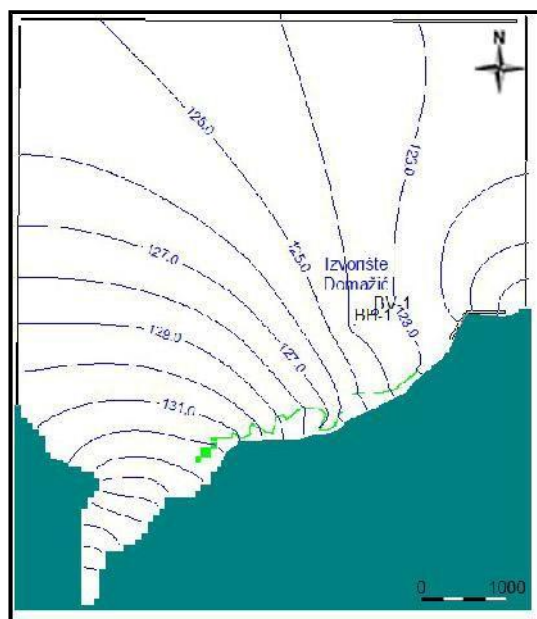


Slika 6. Izolinije nivoa podzemne vode dobijene simulacijom pre grupnog opita crpljenja

Prihranjivanje od padavina je 11,1 l/s, a doticaj iz jugoistočnog dela 3,4 l/s. Oticaj iz modela na severnoj granici je 16,4 l/s.

Rezultati modela pokazuju dobro slaganje sa približnim nivoom podzemne vode pre početka grupnog testa crpenja bunara na izvorištu “Domažić” opština Gradačac, što pokazuju da je konceptualni model dobro postavljen.

U drugoj varijanti, na granicama na zapadu i istoku je stavljen oticaj iz modela, i dobijeni su sledeći rezultati (Constant flux \neq 0).



Slika 7. Izolinije nivoa podzemne vode dobijene simulacijom sa 200 mm/god prihranjivanjem

Prihranjivanje izdani u ovom slučaju je, što se tiče infiltracije od padavina, isto kao i u prethodnom i iznosi 200 mm/god. Bilans modela je jasno pokazao dominantni izvor prihranjivanja izdani, a to je reka Tinja (slika 7) koja prihranjuje izdan količinom vode od 309 l/s, a u isto vreme iz izdani u reku Tinju otiče 173 l/s.

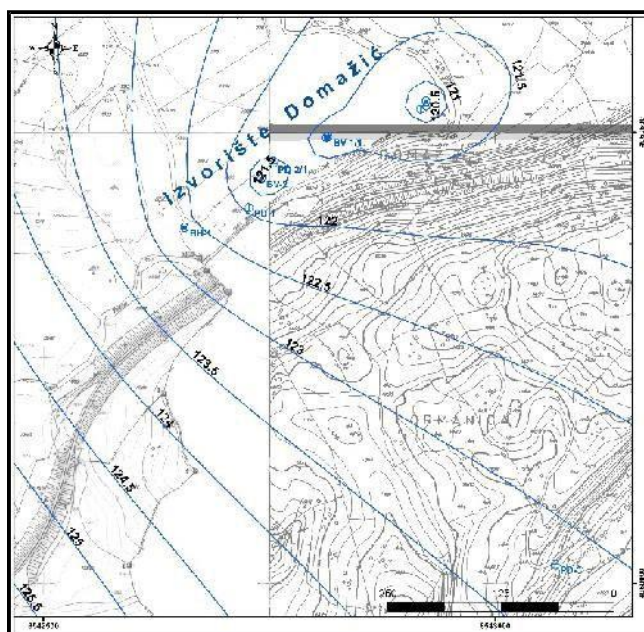
Prihranjivanje od padavina je 11,1 l/s, a doticaj iz jugoistočnog dela 3,4 l/s. Oticaj iz modela na severnoj granici je 16,4 l/s, na istočnoj 3 l/s, dok je na zapadnoj granici 2 l/s. Upoređujući strujne slike, pri promeni granica na istočnoj i zapadnoj strani modela, jasno se vidi da nema velikih oscilacija u strujnoj slici. Prema ovim podacima dolazi do promena u bilansu modela, tj. u količini vode koja dolazi u izdan iz reke Tinje i odlazi iz izdani u reku Tinju. Na ovaj način je utvrđeno da je glavni izvor prihranjivanja izdani reka Tinja.

Prognoza rada izvorišta data je za kapacitet od 126 l/s u stacionarnim uslovima, što podrazumeva maksimalna sniženja, tj. beskonačno dugo trajanje rada izvorišta.

Model prognoze rada projektovanog izvorišta sa kapacitetom od 120 l/s je simuliran kada su prethodnom prognoznom modelu dodati sledeći bunari sa kapacitetima od: BV-2 = 50 l/s, BV-3 = 50 l/s, BV-1 = 14,5 l/s i BH-1 = 11,1 l/s.

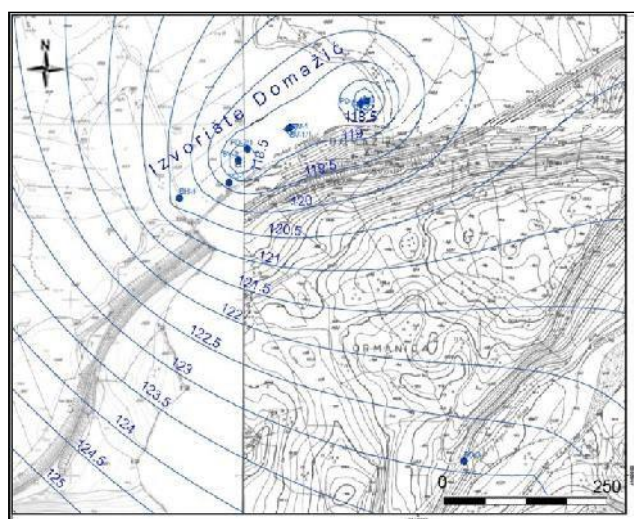
Izolinije nivoa podzemne vode date su na slici 8.

Bilans za ovako postavljen model je: prihranjivanje od padavina 11 l/s, prihranjivanje od reke Tinje 223 l/s, dreniranje vode se vrši sa 4 bunara iz izvorišta "Domažić" u ukupnoj količini od 125,6 l/s, dok je oticaj iz izdani u reku Tinju iznosio 91 l/s.



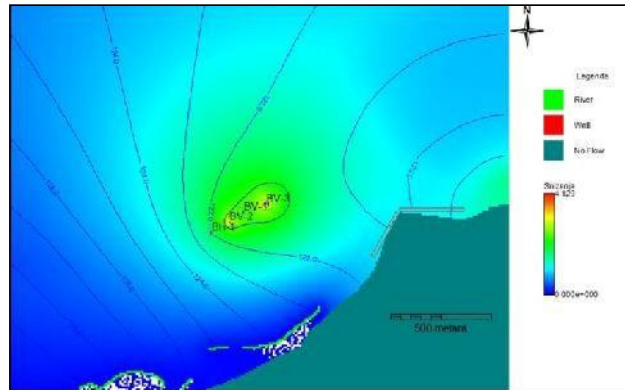
Slika 8. Prikaz bunara i pijezometara na izvorištu "Domažić"

Nakon dobijanja ovih rezultata, promenjen je koeficijent filtracije u široj zoni istražnog prostora. Novi koeficijent filtracije koji je unesen iznosi 1×10^{-4} m/s. Ovakav koeficijent filtracije je unesen na granici sigurnosti. Na slici 9 su date linije nivoa podzemne vode dobijene ovakvom simulacijom.



Slika 9. Izolinije nivoa podzemne vode dobijene prognoznom simulacijom

Na osnovu svih rezultata dobijenih modelskom simulacijom, daje se prognozni model rada izvorišta za period rada od 25 godina (slika 10).



Slika 10. Projektovano sniženje u zoni izvorišta nakon 25 godina eksploatacije

4. Zaključak

Izvorište podzemnih voda „Domažić“ nalazi se u jugoistočnom delu opštine Gradačac, na trameđi opština Gradačac, Srebrenik i Brčko Distrikta u Bosni i Hercegovini.

Ovo izvorište pripada severozapadnom obodu masiva Majevice. U geološkoj građi šireg područja izvorišta „Domažić“ izdvojene su stene paleogone, neogene i kvartarne starosti. Za samo izvorište su bitni krečnjaci sarmata i badena, koji su vodonosni i generalno zaležu ka sever - severozapadu, dok ostale tvorevine najvećim delom imaju ulogu povlatnog ili podinskog izolatora.

Nakon izvođenja dodatnih hidrogeoloških istraživanja 2015. i 2016. godine i izvođenja novog bunara, potrebno je bilo utvrditi da li izvorište može dati 120 l/s.

U radu su za određivanje kapaciteta izvorišta korišćene sledeće metode matematičkog modelovanja: matematičko modelovanje metodom analitičkih elemenata upotrebom programa Aquifer Win 32 i matematičko modelovanje primenom 3D matematičkog modelovanja upotrebom programa Groundwater Vistas verzija 6. Modelom je bilo potrebno dokazati da pomenuto izvorište može dati količine vode 120 l/s, što je izradom istog i potvrđeno.

5. Literatura

- [1] Buzaljko R, Marković S, Vujnović L, Olujić J, Tumač osnovne geološke karte list Brčko, Savezni geološki zavod, Beograd, 1985.
- [2] Laušević M, Jovanović Č, Tumač osnovne geološke karte list Doboj, Savezni geološki zavod, Beograd, 1984.
- [3] Đulović I, Geologija sjeverozapadnog oboda Majevice(monografija), Tuzla, 2013.
- [4] Bear J, Hydraulics of Groundwater, Mc Graw-Hill, New York, 1979.
- [5] Fitts C, Groundwater Science, Gorham USA, 2013

- [6] Hilzbecher E, Sorek S, Numerical models of groundwater and transport, Encyclopedia of Hydrogeological Sciences, John Wiley & Sons Ltd, 2005.
- [7] Jovanović B. S, Numeričke metode rešavanja parcijalnih diferencijalnih jednačina, volume 8, Savremena računaska tehnika i njena primena. Mat. Institut, Beograd, 1989
- [8] Kaluđerović D, Mathematical modeling using Modflow, 12. Yugoslavian Symposium on Hydrogeology and Engineer Geology, Subotica, Yugoslavia, 1999.
- [9] Kaluđerović D, Matematički modeli kretanja podzemnih voda i transporta zagađenja, Copyright, Beograd, 2016.
- [10] Mc Donald M. G. and Harbaug A.W, A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model, US Geological Survey Tehniques of Water Resouces Investigation, Book 6, 1998.
- [11] Bear J. and Cheng A. H. D, Modeling groundwater flow and contaminant transport. Springer Dordrecht, Heidelberg, London, New York, 2010.

MODEL TRANSPORTA ZAGAĐUJUĆE MATERIJE U ZONI IZVORIŠTA „DOMAŽIĆ“, OPŠTINA GRADAČAC, BIH

MODEL OF TRANSPORT OF POLLUTANTS IN THE AREA OF WATER SOURCE „DOMAŽIĆ“, MUNICIPALITY GRADAČAC, BosnH

NIKOLA NIKOLIĆ¹, DRAGAN KALUĐEROVIĆ²
VASO NOVAKOVIĆ³, ESAD ORUČ⁴

Rezime: Tokom 2015. i 2016. godine su izvedeni dodatni hidrogeološki istražni radovi i izvođenje jednog novog bunara na izvorištu podzemne vode „Domažić“, kod Gradačca u Bosni i Hercegovini. Tom prilikom je obavljeno testiranje dva bunara u pojedinačnom radu i paralelni test tri bunara.

Takođe je izradom 3D matematičkog modela dokazan zbirni kapacitet izvorišta od 120 l/s, a u ovom radu je prikazan model transporta zagađujuće materije i trajektorije čestica, određeno vreme i putanje kretanja zagađujuće materije u slučaju havarije u okolini izvorišta Domažić.

Ključne reči: podzemna voda, kapacitet, matematički model, transport, zagađenje, trajektorija

Abstract: During 2015 and 2016 additional hydrogeological exploration works and one new water well were carried out at the source of groundwater “Domažić“, Municipality of Gradačac in Bosnia and Herzegovina. On that occasion, the testing of two wells in single work was carried out and a parallel test of three water wells was carried out, as well.

Also, by making a 3D mathematical model we proved the aggregate capacity of the source of 120 l/s. This paper presents a model of transport of pollutants and trajectories of particles and it defines time and pathways of pollutants in the case of damage to the zone of Domažić source.

Key words: groundwater, capacity, mathematical model, transport, pollution, trajectory

¹Nikola Nikolić, master inž. geol, IPIN, Institut za primijenjenu geologiju i vodoinženjering, Vidovdanska 48, Bijeljina, Bosna i Hercegovina

² dr Dragan Kaluđerović, dipl. inž. geol, Centar za primjenjena naučna istraživanja u vodosnabdevanju i remedijaciji, Milutina Milankovića 120, Novi Beograd

³ prof. dr Vaso Novaković, dipl. inž. geol, IPIN, Institut za primijenjenu geologiju i vodoinženjering, Vidovdanska 48, Bijeljina, Bosna i Hercegovina

⁴ mr Esad Oruč, dipl. inž. geol, Rudarski institut Tuzla, Rudarska 72, Tuzla, Bosna i Hercegovina

1. Uvod

Područje izvorišta „Domažić“ nalazi se na jugoistočnoj granici opštine Gradačac, koja se u tom delu graniči sa opštinom Srebrenik i Brčko Distriktom (slika 1). Samo izvorište „Domažić“ je smešteno na prelazu između severozapadnog oboda masiva Majevice i područja brčanske Posavine (slika 2). Područje pripada slivu reke Tinje, podslivu Male Tinje.



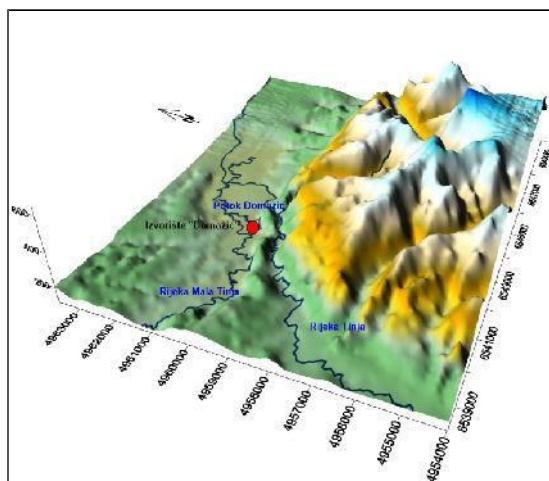
Slika 1. Geografska pozicija izvorišta Domažić

Izvorište je ujedno i disperzna zona formiranja potoka Domažić. Potok Domažić koji ograničava izvorište se uliva u reku Malu Tinju nakon kratkog toka. Južno od izvorišta, u neposrednoj blizini, nalazi se pruga Brčko-Banovići koja se aktivno koristi.

Geološku građu šire okoline izvorišta čine stene paleogena, neogena i kvartarne starosti. Vodonosne stene na području izvorišta su krečnjaci badena i sarmata, koji ujedno predstavljaju i akvifer podzemnih voda koji drenira ovo izvorište, dok ostale stene ovog područja imaju ulogu podinskog ili povlatnog izolatora. Krečnjaci badena i sarmata generalno zaležu prema sever - severozapadu.

Tokom ranijih godina na ovom području su izvođeni određeni hidrogeološki radovi. Prvi bunari koji na ovom prostoru su BV-1 i BV-1/1, izvedeni 1973. godine, i služili su za vodosnadbjevanje sela Vučkovci. Za potrebe snadbjevanja naselja Donji Hrgovi, 1995. godine je izveden bunar BH-1, koji je realizovao NRC iz Norveške. Tokom 2005. godine za potrebe dobijanja dodatnih količina voda sa ovog izvorišta, izveden je bunar BV-2. Na području izvorišta izvedeno je i 3 piježometra.

Dodatna hidrogeološka istraživanja tokom 2015. i 2016. godine su obuhvatila izvođenje novog bunara BV-3 i dva nova piježometra, kao i izvođenje grupnog opitnog crpenja u trajanju od 30 dana i kontinuirano osmatranje nivoa podzemne vode u trajanju od 10 sedmica. Kabinetski rad je podrazumevao izradu 3D matematičkog modela izvorišta „Domažić“ sa simulacijom ranjivosti akvifera. Model transporta zagađujuće materije i transporta čestice je prikazan u ovom radu.



Slika 2. 3D prikaz površine terena šireg područja izvorišta „Domažić“

2. Metode istraživanja

Tokom 2015. i 2016. godine na izvorištu „Domažić“ kod Gradačca izvršeno je bušenje dve pijezometarske bušotine (PD-2/1 i PD-4) i novog bunara BV-3 dubine 90 m.

Kontinuirano osmatranje nivoa podzemne vode vršeno je u periodu od 11.11.2015. do 18.01.2016. godine. Merenja nivoa podzemne vode su vršena 4 puta dnevno na bunarima BH-1, BV-1 i BV-2, kao i na pijezometrima PD-1, PD-2/1 i PD-4.

Tokom kontinuiranog osmatranja nivoa podzemne vode izvršen je test grupnog opitnog crpenja. Test grupnog opitnog crpenja je trajao 30 dana i realizovan je u periodu 24.11-24.12.2015. godine. Crpni objekti su bili bunar BV-2 sa prosečnim kapacitetom crpenja od 52 l/s i bunari BH-1 i BV-1, koji su radili uobičajnim kapacitetom, odnosno BH-1 11,1 l/s i bunar BV-1 kapacitetom 14,5 l/s. Merenja nivoa podzemne vode vršeno je na svim prethodno navedenim objektima.

Pri formiranju konceptualnog modela i rasporeda i prostiranja slojeva, korišćeni su podaci ranije izvedenih istraživanja [1], geoloških podloga i tumača Osnovne geološke karte [2-3].

Konceptualni model je predstavljen sa dva sloja, posmatrajući u vertikalnom preseku. Prvi sloj, vodonepropusni sloj, je predstavljen povlatnim glinama, laporcima i zaglinjenim peskovima, dok je drugi sloj, vodonosni sloj, predstavljen krečnjacima badena i sarmata. Dubine zaleganja slojeva, kao i njihove debljine su određene na osnovu rezultata ranijih istraživanja.

Za potrebe izrade matematičkog modela korišćen je program Groundwater Vistas verzija 6, koji simulira strujanje podzemnih voda. Pored njega, korišćeni su

svi prateći programski dodaci koji služe kao pokretači simulacija modela za određeni vremenski period.

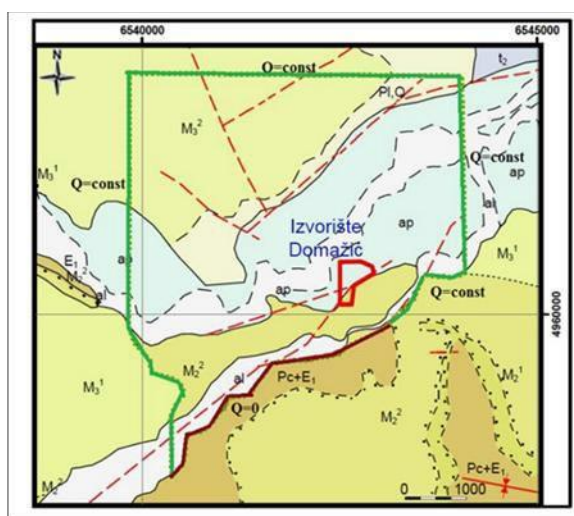
Formiranje matematičkog modela na izvoristu „Domažić“ izvršeno je kroz dve faze:

- prva faza je matematičko modelovanje metodom analitičkih elemenata i,
- druga faza je izrada numeričkog modela.

Prilikom izrade matematičkog modela, prvi korak uvek predstavlja formiranje konceptualnog modela. Konceptualni model nam dozvoljava uprošćavanje hidrogeološkog sistema u kome struji podzemna voda, prikupljanje i obradu podataka, što dalje omogućava analizu sistema. Jako je bitno izraditi kvalitetan konceptualni model, jer numerička analiza sistema bazirana na lošem konceptualnom modelu daje loše rezultate [4-6].

Prvi korak formiranja svakog konceptualnog modela je definisanje oblasti istraživanja. U našem slučaju oblast istraživanja zahvata prilično veću površinu od površine izvorista „Domažić“. Za potrebe definisanja granica model, ubačeni su podaci o kapacitetu izvorista od 120 l/s i vrednost koeficijenta filtracije $K = 1 \times 10^{-4}$.

Granice budućeg modela su određene na osnovu simulacije zadatih uslova u programu Aquifer Win 32.



Slika 3. Granični uslovi modela

Legenda: $Pc+E_1$ -Peščari i laporci; E_1 -Fliš, sitnozrni do srednjozrni peščari sa alevrolitima i ređe laporima; M_2^1 -sprudni masivni krečnjaci, slojeviti krečnjaci (akvifer); M_2 -Oolitični krečnjaci, peskoviti krečnjaci (akvifer); M_3 -Laporci masivni sa kongerijama; M_3^2 -peskovi, glinoviti peskovi, gline; t_2 -Druga rečna terasa; al -Aluvijalni sedimenti predstavljeni šljunkovima, peskovima i glinama; ap -Aluvijalno-plavni sedimenti: siltovi i peskoviti siltovi.

Površina koja je obuhvaćena ovakvim granicama modela iznosi 21,5 km². Podaci o geološkoj građi terena, ali i hidrogeološkim karakteristikama istog, omogućili su nam definisanje granica modela (slika 3). Skoro celom dužinom, južna granica modela je predstavljena kontaktom vodonosnih sedimentata sarmata i badena sa vodonepropusnim sedimentima paleocena i donjeg eocena, osim u jugoistočnom delu terena, gde postoji kontakt sa krečnjacima koji se nalaze van modela. U tom delu, granica je predstavljena preko analitičkog linijskog oblika, Constant flux, kroz koji postoji određeni doticaj u model. Kroz južni deo terena protiče reka Tinja, koja je simulirana kao granični uslov „reka“ (RIVER), velike hidrauličke provodljivosti, te je samim tim i konstantan izvor vode.

Granice na severnoj, istočnoj i zapadnoj strani modela su fizički određene i predstavljene kao Constant flux. Zadate su isto kao i granica u jugoistočnom delu terena, preko analitičkog linijskog oblika.

Na severnoj strani modela postoji konstantno oticanje vode iz modela.

Sa druge strane, istočna i zapadna granica su razmatrane sa dvojakom funkcijom. U prvom slučaju granice su bile vodonepropusne (Constant flux = 0) i nije postojao proticaj vode kroz njih. U drugom slučaju su granice predstavljene kao vodopropusne (Constant flux ≠ 0), sa određenim proticajem kroz njih.

Sledeći korak je bio diskretizacija modela. Horizontalna diskretizacija (površina modela) je izvršena podelom na polja ortogonalnog oblika, sa 285 redova i 279 kolona. Veličina polja nije ista. U široj okolini izvorišta, polja su dimenzije 50 x 50 m, dok im je veličina u samoj zoni izvorišta 10 x 10 m.

Kako je već ranije pomenuto, vertikalna diskretizacija modela je urađena sa dva sloja. Prvi sloj modela predstavlja vodonepropusne stene panona i ponta i delimično krečnjake koji se nalaze na površini terena. Drugi sloj modela su krečnjaci badena i sarmata, sa zaleganjem ka severu.

Rezultati prethodnih istraživanja navode na zaključak da se hidrogeološki sistem prihranjuje na više načina i to infiltracijom iz reke Tinje, infiltracijom od padavina sa dela terena gde je krečnjak otkriven i dotokom vode iz jugoistočnog dela. Sistem se prazni prirodnim oticajem vode na severu, istoku i zapadu, kao i preko bunara koji su trenutno u funkciji na izvorištu.

Početna vrednost koeficijenta filtracije iznosi $K = 1 \times 10^{-4}$ m/s. Zadana je kao homogena vrednosti za ceo vodonosni sloj. Vrednosti neto prihranjivanja u zoni gde je krečnjak na površini terena uzete su kao osrednjene na godišnjem nivou i to 200 mm/god.

Kao osnova za 3D numerički model transporta zagađenja korišćeni su granični uslovi iz prethodnog modela rada izvorišta sa kapacitetom od 120 l/s koji je urađen za potrebe prognoze i procene količine vode koja se može crpeti iz istraživanog akvifera (izdani), pri sledećim kapacitetima bunara:

- BV-2 = 50 l/s

- BV-3 = 50 l/s
- BV-1 = 14,5 l/s
- BH-1 = 11,7 l/s

Program koji je korišćen za simulaciju je MT3DMS, a grafički interfejs je Groundwater Vistas [7-8].

Formirani 3D numerički model ima iste parametre kao i prethodni, hidrodinamički model. Granični uslov za transport zagađujuće materije je simuliran izlivanjem cisterne benzina ili sirove nafte na pruži u zoni koja je najbliža izvorištu, u dužini od oko 200 metara.

Koncentracija zagađivača je simulirana kao konstantna vrednost od 130 mg/l, što je vrlo velika vrednost. To je vrednost koja je maksimalno osmotrena koncentracija benzena (rastvorljivost čiste tečne faze je 1760 mg/l) rastvorenog u vodi ispod LNAPL tečne faze [9].

Simulacija uključuje samo advekciju i disperziju, znači bez hemijskih i bioloških reakcija, i rasprostranjenje zagađenja [10-11]. Što se tiče disperzivnosti, zadate su vrednosti od 5 metara za longitudinalnu disperzivnost, 0,5 m za transferzalnu disperzivnost i 0,05 m za vertikalnu disperzivnost [12]. Ove vrednosti predstavljaju vrednosti koje su preuzete iz literature. Za poroznost je korišćena vrednost $n=0,1$.

Paralelno sa transportom zagađujuće materije, odrađeno je i prognozno vreme dolaska čestica iz reke Tinje do objekata na lokaciji izvorišta. Pri simulaciji kretanja čestica korišćena je programska opcija MODPATH [13] i model iz prognoze rada izvorišta sa kapacitetom od 120 l/s. Efektivna poroznost je data vrednošću od 0.1.

3. Rezultati i diskusija

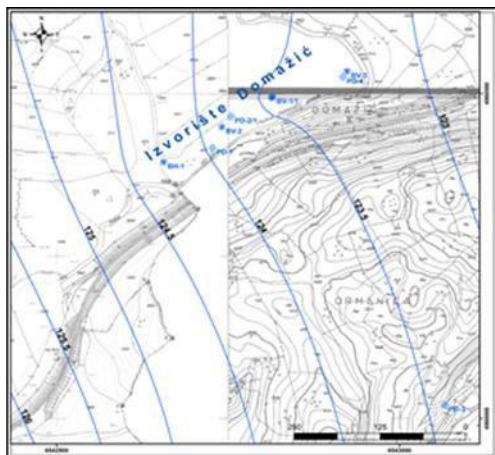
Da bi se dobio koeficijent filtracije, prvo je urađena obrada grupnog opita crpenja. U programu Aquifer Test urađena je obrada podataka. Dobijena je srednja vrednost koeficijenta filtracije $K=2 \times 10^{-4}$ m/s (tabela 1).

Tabela 1. Filtracioni parametri akvifera

Posmatrani objekat	Transmisivnost (m/s)	Koef. Filtracije (m ² /s)	Koef. uskladištenja
PD-1	$1,45 \times 10^{-2}$	$1,21 \times 10^{-4}$	$5,06 \times 10^{-3}$
PD-2/1	$2,88 \times 10^{-2}$	$2,40 \times 10^{-4}$	$1,28 \times 10^{-2}$
PD-4	$2,04 \times 10^{-2}$	$1,70 \times 10^{-4}$	$8,81 \times 10^{-3}$
BV-1/1	$3,22 \times 10^{-2}$	$2,66 \times 10^{-4}$	$2,88 \times 10^{-2}$
Prosečna vrednost	$2,40 \times 10^{-2}$	$2,00 \times 10^{-4}$	$1,39 \times 10^{-2}$

Nakon toga, ta vrednost je uneta u podatke modela i pristupilo se izradi matematičkog modela. Ovako formiran model nakon simulacije u programskom paketu Groundwater Vistas daje dobre rezultate, što pokazuje da je konceptualni model

dobro formiran. Pokazatelj uspešnosti simulacije bio je približan nivo podzemne vode u zoni izvorišta koji je zabeležen pre početka dugotrajnog opita grupnog crpenja bunara izvorišta “Domažić”. Izolinije nivoa podzemne vode dobijene simulacijom date su na slici 4.

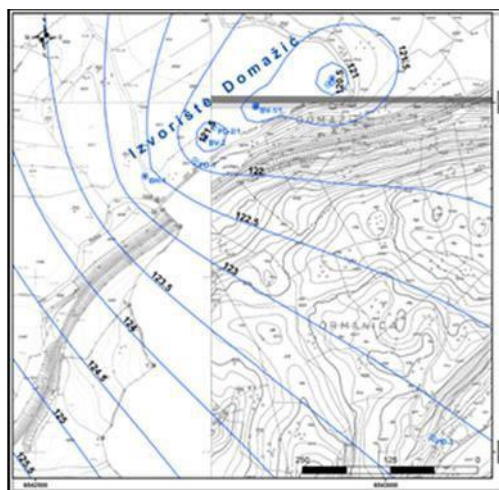


Slika 4. Izolinije nivoa podzemne vode dobijene simulacijom pre grupnog opita crpljenja

Prognoza rada izvorišta data je za kapacitet od 126 l/s u stacionarnim uslovima, što podrazumeva maksimalna sniženja, tj. beskonačno dugo trajanje rada izvorišta.

Model prognoze rada projektovanog izvorišta kapacitetom od 120 l/s je simuliran kada su prethodnom prognoznom modelu dodati sledeći bunari sa kapacitetima od: BV-2 = 50 l/s, BV-3 = 50 l/s, BV-1 = 14,5 l/s i BH-1 = 11,1 l/s.

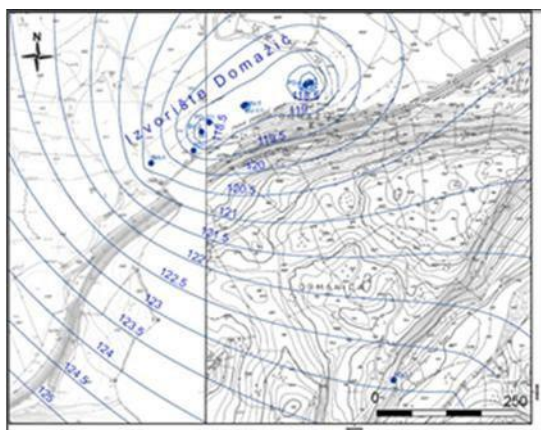
Izolinije nivoa podzemne vode date su na slici 5.



Slika 5. Prikaz bunara i pjezometara na izvorištu “Domažić”

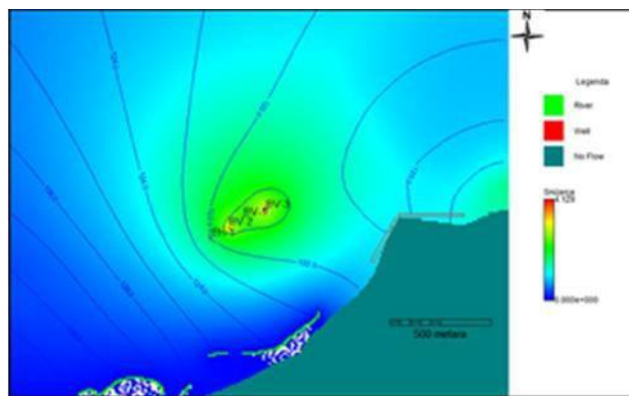
Bilans za ovako postavljen model je: prihranjivanje od padavina 11 l/s, prihranjivanje od reke Tinje 223 l/s, dreniranje vode se vrši sa 4 bunara iz izvorišta "Domažić" u ukupnoj količini od 125,6 l/s, dok je oticaj izdani u reku Tinju iznosio 91 l/s.

Nakon dobijanja ovih rezultata, promenjen je koeficijent filtracije u široj zoni istražnog prostora. Novi koeficijent filtracije koji je unešen iznosi 1×10^{-4} m/s. Na slici 6 su date linije nivoa podzemne vode dobijene ovakvom simulacijom.



Slika 6. Izolinije nivoa podzemne vode dobijene prognoznom simulacijom

Na osnovu svih rezultata dobijenih modelskom simulacijom, daje se prognozni model rada izvorišta za period rada od 25 godina (slika 7).

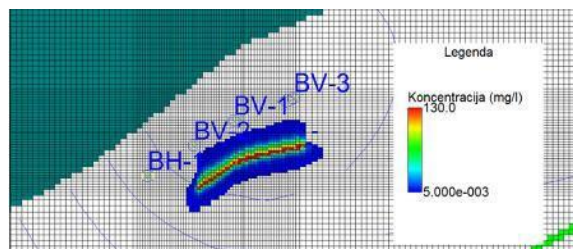


Slika 7. Projektovano sniženje u zoni izvorišta nakon 25 godina eksploatacije

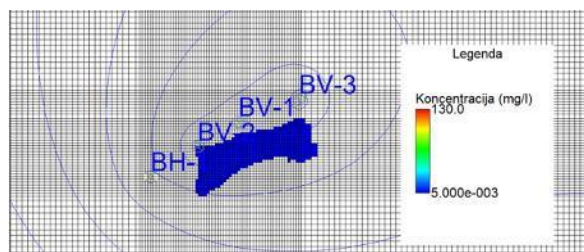
Nakon izrade modela prognoze rada izvorišta „Domažić“, pristupilo se izradi modela transporta zagađujuće materije. Model transporta zagađujuće materije raden je simulacijom izlivanja cisterne benzina ili sirove nafte, na pruži iznad izvorišta.

Prema postavljenim parametrima, potencijalno zagađenje prvog sloja posle skoro 10 dana prostire se na oko 45 metara od izvora zagađenja, tj. dolazi do bunara

BV-2 (slika 8). Potencijalno zagađenje drugog vodonosnog sloja na istoj udaljenosti od 45m bi bilo ostvareno za 9,85 dana (slika 9). Sa slika se vidi da je zagađenje stiglo do bunara BV-2, koji je u prognoznoj simulaciji pušten da radi sa kapacitetom 50 l/s.

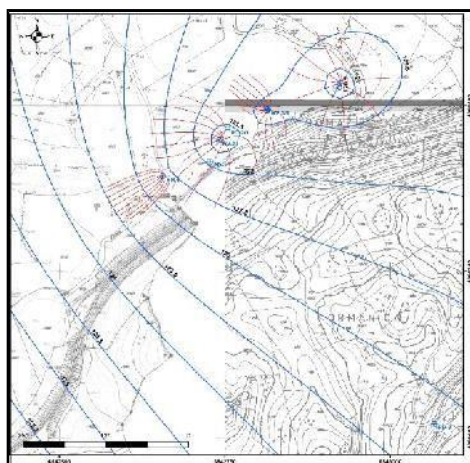


Slika 8. Površina modela koja je obuhvaćena koncentracijama do 0.005 mg/l posle 9.85 dana simulacije bez adsorpcije i biodegradacije, sloj 1

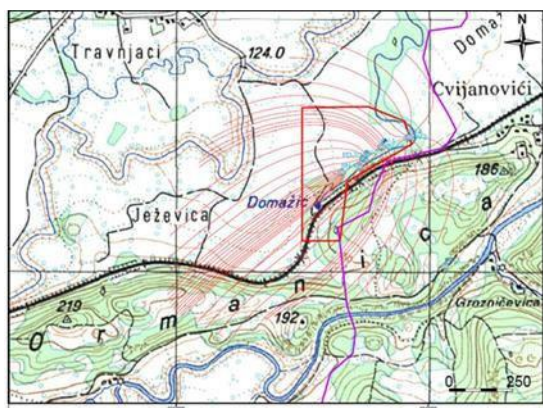


Slika 9. Površina modela koja je obuhvaćena koncentracijama do 0.005 mg/l posle 9.85 dana simulacije bez adsorpcije i biodegradacije, sloj 2

Nakon toga, pristupilo se određivanju prognoznog vremena dolaska čestice iz reke Tinje do objekata na izvoristu. Proračunato vreme na osnovu svih dobijenih parametara se kreće između 2,5 i 3 godine. Prikaz trajektorija kretanja čestica je data na sledećim slikama i prikazana je crvenom linijom.

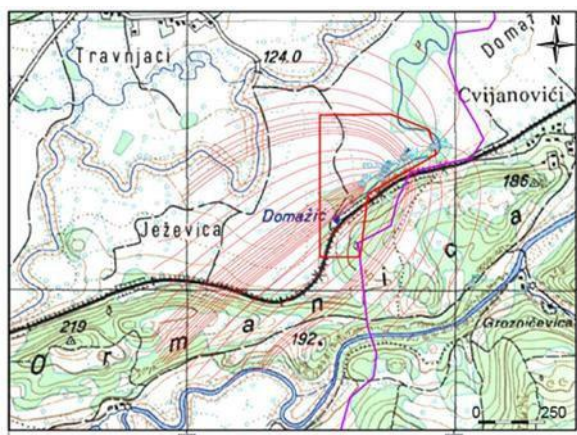


Slika 10. Simulacija transporta čestice podzemnim tokom za period od 50 dana



Slika 11. Trajektorija čestica od reke Tinje ka objektima (proгноzno vreme dolaska 2,5 godine)

Sa slike broj 11 se vidi da za period od 2,5 godine, čestice iz reke Tinje još neće stići do objekata na izvorištu „Domažić“. Na slici broj 12 prikazan je period od 3 godine. Sa slike se jasno vidi da će čestice iz reke Tinje stići do objekata na izvorištu u tom vremenskom roku.



Slika 12. Trajektorija čestica od reke Tinje ka objektima (proгноzno vreme dolaska 3 godine)

4. Zaključak

Izvorište podzemnih voda „Domažić“ nalazi se u jugoistočnom delu opštine Gradačac u Bosni i Hercegovini, na trameđi opština Gradačac, Srebrenik i Brčko Distrikta.

Bunari ovog izvorišta zahvataju vodu iz krečnjaka sarmata i badena, koji su vodonosni i generalno zaležu ka sever - severozapadu, dok ostale tvorevine najvećim delom imaju ulogu povlatnog ili podinskog izolatora.

Nakon izvođenja dodatnih hidrogeoloških istraživanja 2015. i 2016. godine koja su uključila i izvođenje novog bunara, izradu 3D modela za ukupni kapacitet crpenja 120 l/s metodama matematičkog modelovanja: matematičko modelovanje metodom analitičkih elemenata upotrebom programa Aquifer Win 32 i matematičko modelovanje primenom 3D matematičkog modelovanja upotrebom programa Groundwater Vistas verzija 6.

Takođe je urađeno i matematičko modelovanje transporta zagađujuće materije i utvrđivanje trajektorije čestice. Transport zagađujućih materija praćen je preko benzina ili sirove nafte, zbog blizine pruge kojom se prevoze naftni derivati. Ispitivanja ranjivosti akvifera od najbližeg dela pruge izvorištu su pokazala da bi transport zagađujućih čestica do objekata na izvorištu bio u roku od 9,85 dana. Trajektorija čestica je pokazala da je vremenski period od 3 godine dovoljan da čestice iz reke Tinje dospeju do izvorišta, kao i put kojima se one kreću.

5. Literatura

- [1] Đulović I, Geologija sjeverozapadnog oboda Majevice, monografija, Tuzla, 2013.
- [2] Buzaljko R, Marković S, Vujnović L, Olujčić J, Tumač osnovne geološke karte list Brčko, Savezni geološki zavod, Beograd, 1985.
- [3] Laušević M, Jovanović Č, Tumač osnovne geološke karte list Doboj, Savezni geološki zavod, Beograd, 1984.
- [4] Bear J. and Cheng A. H. D, Modeling groundwater flow and contaminant transport. Springer Dordrecht, Heidelberg, London, New York, 2010.
- [5] Hilzbecher E, Sorek S, Numerical models of groundwater and transport, Encyclopedioa of Hidrogeological Sciences, John Wiley & Sons Ltd, 2005.
- [6] Kaluđerović D, Matematički modeli kretanja podzemnih voda i transporta zagađenja, Copyright, Beograd, 2016.
- [7] L. K. Lautz, D. I. Siegel, Modeling surface and ground water mixing in the hyporheic zone using MODFLOW and MT3D, Advances in Water Resources, (29) 1618-1633, 2006.
- [8] Zheng C, MT3D, A Modular Three-Dimensional Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion and Chemical Reactions of Contamination in Ground-Water System, US EPA, R.S. Kerr Environmental Research Laboratory, Ada, Oklahoma, 1990.
- [9] Fitts C, Groundwater Science, Gorham USA, 2013
- [10] Anderson M. P, Movement of Contaminants in Groundwater: Groundwater Transport - Advection and Dispersion, from Groundwater Contamination, 37-45 p., National Academy Press, 1984.
- [11] Thangarajan M, Quantification of pollutant migration in the groundwater regime through mathematical modelling, Current Science, 76(1), 73-81. 1999.
- [12] Zheng C. and Bennett G, Applied contaminant transport modelling, Second Edition, New York, USA. John Wiley and Sons, Inc 2002.
- [13] Pollock D.W., User guide for MODPATH Version 6-A Particle-Tracking Model for MODFLOW, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 2012.

UPRAVLJANJE I NADZOR BUNARSKIH POSTROJENJA

CONTROL AND SUPERVISION OF WATER WELLS

STANKO STANKOV¹

Rezime: U radu je opisano tehničko rešenje upravljanja i nadzora bunarskih postrojenja koja su u sastavu jednog vodovodnog sistema. Svi elementi koji čine regulacioni sistem (senzori diskretnog i kontinualnog nivoa, merači protoka, elektromotorni ventil, pumpa) povezani su na odgovarajuće ulaze i izlaze PLC kontrolera. Zadavanje i pregled karakterističnih veličina i parametara vrši se na touch panelu. Pojava alarma u sistemu ispisuje odgovarajuću poruku na panelu, što olakšava identifikaciju kvara službi održavanja. Kontroleri omogućavaju autonoman rad bunarskih stanica kao i povezivanje, preko sistema prenosa podataka, s centralnim sistemom nadzora i upravljanja u dispečerskom centru. Centralnim sistemom može biti obuhvaćen veliki broj bunara, nezavisno od oblasti u kojima se oni nalaze.

Ključne reči: bunarsko postrojenje, pumpa, elektromotorni ventil, nivo, upravljanje, nadzor

Abstract: The paper describes a technical solution for control and supervision of well plants that are part of a water supply system. All the elements that make up the control system (sensors on discrete and continuous level, flow meters, electric valve, pump) are connected to the appropriate inputs and outputs of PLC controller. Setting and overview of characteristic values and parameters is performed on the touch panel. The occurrence of an alarm in the system prints an appropriate message on the panel, which facilitates the identification of failure to the maintenance service. Controllers allow autonomous operation of wells, as well as connection through a system of data transfer with central system of control and in managing the dispatch center. A large number of wells can be covered by a central system, independently of the areas in which they are located.

Key words: water wells, pump, electromotor valve, level, control, supervision

1. Uvod

Bunarska postrojenja su neretko sastavni delovi vodovodnih sistema. Radom tih postrojenja upravlja PLC kontroler u sprezi sa operatorskim panelom koji služi za zadavanje i pregled parametara. Nadzor nad celokupnim sistemom i kontrolu upravljanja, ukoliko se dozvoli odgovarajućim položajem grebenastog prekidača na vratima lokalnog elektro ormara, vrši SCADA aplikacija u dispečerskom centru (DC). Komunikacija SCADA-e i PLC-a se odvija pomoću određenog protokola.

¹ mr Stanko Stankov, dipl. inž. el, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, Niš

Pumpna stanica može raditi u ručnom ili automatskom režimu.

Sastavni elementi postrojenja su: pumpna stanica, elektromotorni ventil, senzori diskretnog i kontinualnog nivoa, merači protoka) [1, 2].

Ručni režim rada je bez regulacije nivoa vode u bunaru, ali sa odgovarajućim zaštitama (zaštita pumpe od rada na suvo i asimetrije i nestanka faze). Ovaj način upravljanja se koristi u probnom radu pumpne stanice, prilikom održavanja, remonta i periodične provere ispravnosti pumpnih agregata. U ručnom režimu rada PLC ima samo nadzornu ulogu ali ne i upravljačku. I u ovom režimu rada moguće je pratiti parametre na touch panelu PLC-a. Automatski režim rada je kontrolisan od strane PLC-a, koji poseduje određeni broj digitalnih i analognih ulaza i izlaza. Uvedena je blokada rada motora pumpe (M1) kada je otvoren elektromotorni ventil (M2) za nalivanje bunara. Takođe, blokira se otvaranja elektromotornog ventila kada motor pumpe radi.

U bunaru je instalirana hidrostatička sonda za kontinualno merenje nivoa vode, a pored bunara identična sonda za praćenje izdašnosti bunara – signali 4 - 20 mA, koji se preko analognih ulaza dovode u PLC. U PLC se dovode i analogni signali sa merača protoka na cevovodu za crpljenje vode iz bunara i merača protoka na dovodnom cevovodu za punjenje bunara vodom, kao i analogni signal položaja otvorenosti elektromotornog ventila. Analognim izlaznim signalom 4 - 20 mA se reguliše otvorenost ventila. Merači protoka preko RS485 porta dostavljaju podatke PLC-u o trenutnim i kumulativnim vrednostima protoka.

Formirane su dve upravljačke konture:

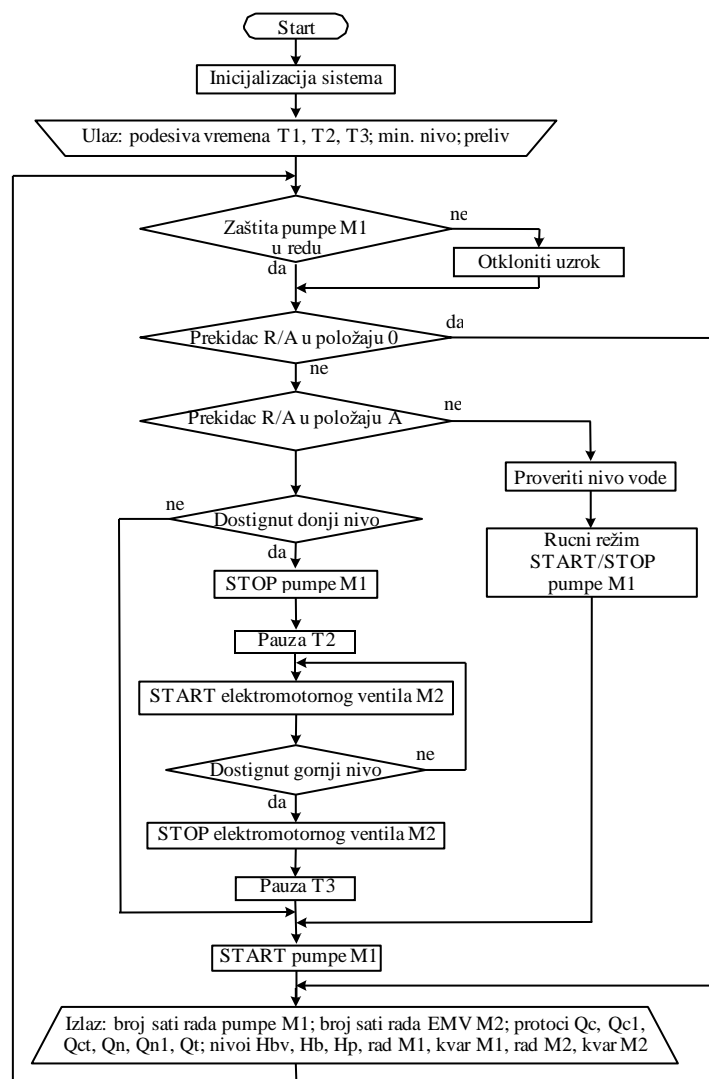
1. Upravljanje radom pumpe za crpljenje vode iz bunara, gde pumpa neprekidno crpe vodu (podesivo vreme – T1, koje u konkretnom slučaju iznosi oko 70 sati). Hidrostatička sonda prati nivo vode u bunaru i ukoliko nivo padne na određenu vrednost pumpa se isključuje i pre isteka ovog perioda, kako bi se zaštitila od rada na suvo. Kao dodatna zaštita od rada na suvo koristi se signal nivostata sa konduktivnim nivo sondama, kada se aktivira signalizacija MIN nivo. Preliv vode u bunaru se detektuje nivostatom maksimalnog nivoa i pomenutim hidrostatičkim senzorom.

2. Upravljanje radom regulatora protoka sa elektromotornim ventilom za nalivanje bunara vodom obogaćenom kiseonikom. Proces nalivanja bunara ovom vodom koja se dovodi gravitaciono traje oko 10 sati, tj. do dostizanja gornjeg nivoa bunara. Preko hidrostatičke sonde prati se nivo vode u bunaru, i ukoliko nivo vode poraste do određene vrednosti izdaje se komanda za zatvaranje elektromotornog ventila i pre isteka ovog perioda, kako ne bi došlo do preliivanja.

Dodatna zaštita od preliiva je signal nivostata sa konduktivnim nivo sondama. Dostizanjem gornjeg nivoa aktivira se signalizaciju MAX nivo i zatvaranje regulatora protoka s motornim pogonom i leptirastim zatvaračem. Informacija o stepenu otvorenosti/zatvorenosti se dovodi na analogni ulaz, a podatak sa graničnih pozicija ventila se dovodi na digitalne ulaze PLC-a. Uprošćen dijagram toka rada bunarskog postrojenja je prikazan na slici 1 [1, 2].

Program u PLC-u onemogućava istovremeno uključenje bunarske pumpe I otvaranje elektromotornog ventila na dovodu u bunar, pri čemu postoji pauza između ove dve aktivnosti:

- Po završetku procesa crpljenja vode iz bunara, potrebna je pauza (tipično oko 30 minuta - podesivo vreme – T2) pre nego što se krene s nalivanjem u bunar vode obogaćene kiseonikom. U tom periodu bunarska pumpa ne radi, regulator protoka (elektromotorni ventil) na cevovodu za nalivanje bunara je zatvoren.



Sika 1. Uprošćeni algoritam rada bunarskog postrojenja

- Kada se bunar napuni vodom, potrebno je obezbediti „mirovanje“ u trajanju od oko 4 sata (podesivo vreme – T3). U tom periodu bunarska pumpa ne radi, regulator protoka na cevovodu za nalivanje bunara je zatvoren.

- Nedeljno se izvode 2 ciklusa.

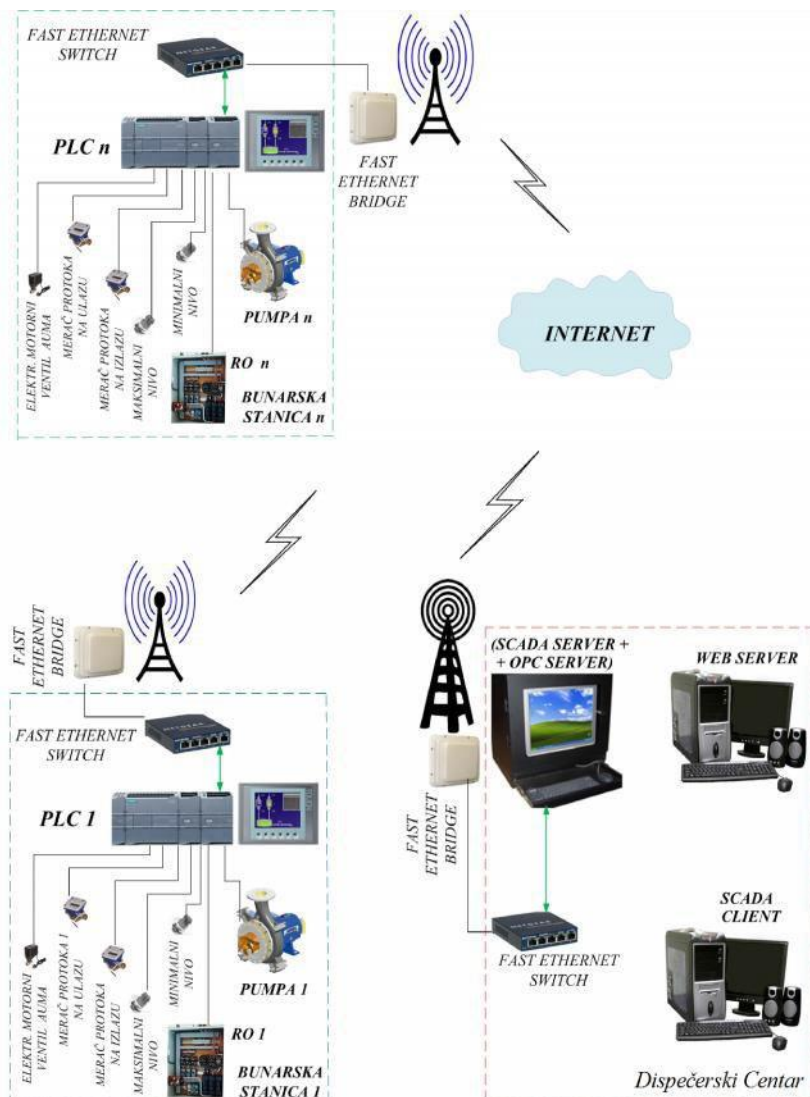
Na touch panelu, pomoću nekoliko ekrana, se prikazuju sledeće veličine i parametri:

- T_{pc} – vreme rada bunarske pumpe u jednom ciklusu crpljenja,
- T_p – ukupno vreme rada bunarske pumpe,
- trenutni status bunarske pumpe, rad/pauza,
- kvar pumpe,
- T_{nc} – vreme nalivanja bunara u jednom ciklusu (otvorenost elektromotornog ventila na dovodu vode u bunar, 0 ÷ 10 časova),
- T_n – ukupno vreme nalivanja bunara,
- T_{p1} – vreme pauze između završetka procesa crpljenja i početka regeneracije (oko 30 min.),
- T_{p2} – vreme pauze između završetka procesa regeneracije i početka crpljenja (oko 4 časa),
- Q_{c1} – protok na potisnom cevovodu iz bunara prema pumpnoj stanici u jednom ciklusu,
- Q_c – ukupan protok na potisnom cevovodu iz bunara prema pumpnoj stanici,
- Q_{ct} – trenutni protok na potisnom cevovodu iz bunara prema pumpnoj stanici,
- Q_{n1} – protok na dovodnom cevovodu za nalivanje (regeneraciju) bunara u jednom ciklusu,
- Q_n – ukupan protok na dovodnom cevovodu za nalivanje (regeneraciju) bunara,
- Q_{nt} – trenutni protok na dovodnom cevovodu za nalivanje (regeneraciju) bunara,
- H_b – merenje nivoa podzemne vode u bunaru,
- H_p – merenje nivoa podzemne vode van bunara,
- H_b – nivo vode u bunaru,
- stanja glavnog prekidača i kontaktora,
- alarmi bitni za rad sistema.

3. Prenos podataka

Bežični sistem za prenos podataka (slika 2) obezbeđuje stalnu komunikaciju između bunara i DC u upravnoj zgradi. U ormarima bunara su instalirani upravljivi FastEthernet L2 svičevi za povezivanje opreme, koji poseduju FastEthernet portove čija je brzina 10/100MB/s. Bežični bridž povezuje FastEthernet svič u bunarskom postrojenju s FastEthernet svičem u DC putem bežičnog linka.

Veza između bežičnog bridža i POE (power over ethernet) elementa u razvodnom ormaru bunarskog postrojenja se ostvaruje samonosećim STP kablom (schirm twisted pair – upredeni par provodnika sa širmom). Bežični bridž je povezan antenskim kablom sa integrisanom panel antenom [2 - 4].



Sika 2. Blok šema upravljačko-nadzornog sistema bunarskih stanica

4. Konfiguracija SCADA sistema

Slika 2 istovremeno prikazuje blok šemu SCADA sistema n bunarskih stanica. Računari (dva SCADA servera, WEB server i CLIENT računari su instalirani u DC).

Bunarske stanice mogu da rade u režimu rada:

- lokalno ručno,
- lokalno automatski,
- daljinski ručno i
- daljinski automatski.

Lokalni ručni režim rada namenjen je za servisiranje i remont. Upravljanje se vrši preko touch panela. Lokalni automatski režim rada se odvija preko PLC-a. Daljinski ručni režim omogućava komandovanje postrojenjem iz dispečerskog centra, pri čemu se pojedinačno mogu uključivati npr. pumpa ili elektromotorni pogon ventila.

Normalni režim rada postrojenja je automatski daljinski, kada se rad odvija programski preko PLC-a i pod nadzorom SCADA sistema [1, 2].

4.1. Koncipiranje SCADA sistema

Pri koncipiranju kapaciteta SCADA sistema osnova je hardverska konfiguracija upravljačkog sistema kao i ulazne i izlazne veličine i parametri upravljanog postrojenja. Posmatraju se sledeće funkcionalne celine:

- razvodni ormar sa statusima ugrađenih elemenata,
- merni elementi (nivoi i protoci),
- izvršni organi: pumpni agregat i elektromotorni ventil.

Na osnovu toga vrši se određivanje broja ulaznih i izlaznih signala (digitalnih i analognih) i planira se broj tagova SCADA. Imajući u vidu činjenicu da je broj bunara u konkretnom slučaju 30, a broj tagova po jednom bunarskom postrojenju je 51, što je ukupno $51 \cdot 30 = 1530$ tagova, usvojena je SCADA s 2048 tagova [1, 2].

4.2. Arhitektura SCADA sistema

U hardverskom pogledu u sastav SCADA sistema ulaze sledeći elementi: dva PC računara – SCADA servera, koji rade u redundantnom režimu. U okviru ovih servera se instaliraju i OPC serveri, WEB server i klijent serveri.

4.3. Hardverska konfiguracija SCADA servera

PC računar kao SCADA server ima sledeće karakteristike: procesor I5, XEON, RAM 8GB, HARD DISK RAID 2*1TB, ETHERNET kartica, monitor rezolucije 1920*1080, 20“, tastatura i miš.

4.4. Hardverska konfiguracija Web servera

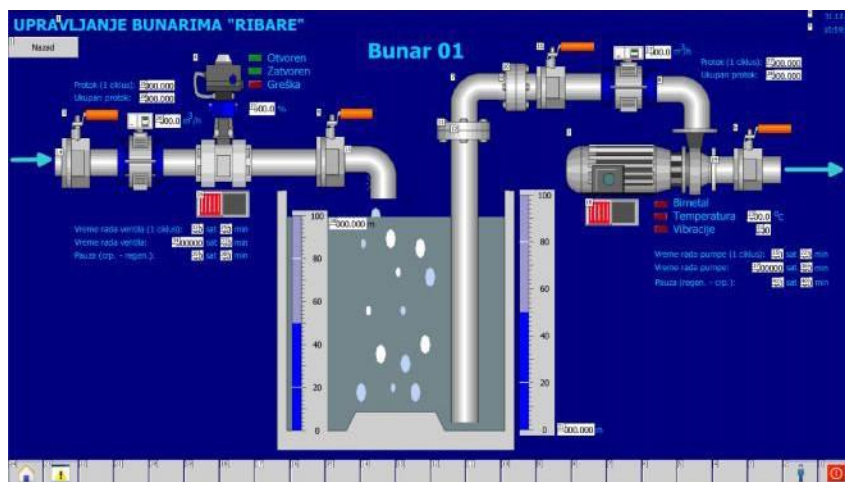
U ulozi Web servera je PC računar sa sledećim elementima: procesor I3, RAM 4GB, HARD DISK 500GB, ETHERNET kartica. monitor rezolucije 1920*1080, 22“, tastatura i miš.

4.5. Hardverska konfiguracija SCADA CLIENT-a

SCADA klijent je PC u čijem su sastavu: procesor I3, RAM 4GB, HARD DISK 500GB, ETHERNET kartica, monitori rezolucije 1920*1080, 22“, grafička kartica za 4 monitora, tastatura i miš.

5. Vizuelizacija objekata

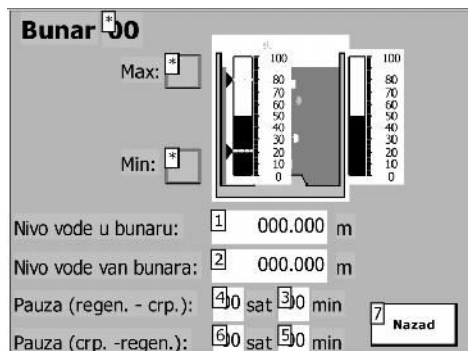
Kreiran je određen broj SCADA ekrana (klijent računari u dispečerskom centru –jedan ekran je prikazan na slici 3) na kojima su predstavljeni određeni elementi bunarskog postrojenja, s karakterističnim veličinama i parametrima.



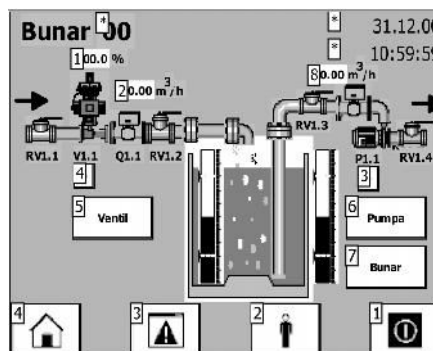
Slika 3. Jedan SCADA ekran bunarskog postrojenja

SCADA se organizuje u vidu menija i podmenija, pri čemu se prikazuje funkcionalnost sistema uz određene animacije (npr. rad pumpe, elektromotornog ventila), daje se prikaz promene neke veličine u realnom vremenu u vidu trend grafa ili u digitalnom obliku (vrednosti nivoa, protoka itd.), dostizanje graničnih vrednosti se signalizira kao alarmna poruka uz zvučnu i svetlosnu signalizaciju.

Dat je i određen broj ekrana operatorskog panela (slike 4 i 5) [1].



Slika 4. Prikaz nivoa vode bunarskog postrojenja



Slika 5. Prikaz elektromotornog ventila i pumpe

6. Zaključak

Opisani upravljačko - nadzorni sistem omogućava prikupljanje podataka sa udaljenih pumpnih agregata i pratećih elemenata bunarskih postrojenja koji su u sastavu vodovodnog sistema, kao i upravljanje agregatima. Prenos informacija i upravljačkih signala vrši se bežično. Izmerene vrednosti značajnih veličina i parametara, sva uključivanja i isključivanja uređaja i opreme beleže se u dnevnim, mesečnim i godišnjim arhivama. Ovi zapisi su u vidu odgovarajućih dijagrama i tabela.

Dispečer ili autorizovano lice ima jednostavan pristup arhivama. Mogu da se menjaju određeni parametri, da se prate pomoćni fajlovi on – line, koji se odnose na funkcionalnost sistema kao i karakteristični podaci za svaku bunarsku stanicu. Omogućeno je generisanje i štampanje izveštaja. Na SCADA sistemu u dispečerskom centru mogu se pratiti parametri i veličine karakteristične za rad bunarskog postrojenja. SCADA prikazuje i alarmne signale sa svih bunarskih stanica uz svetlosnu i zvučnu signalizaciju.

7. Literatura

- [1] Stankov S, Glavni projekat upravljanja i nadzora bunarskih postrojenja na lokaciji “Ribare”, u okviru JKP „Standard“, u Jagodini, Elektronski fakultet Niš, 2015.
- [2] Stankov S, Glavni projekat upravljanja i nadzora Fabrike vode “Mediana 2” u JKP “Naisus”, Elektronski fakultet Niš, 2014.
- [3] Siemens Simatic, HMI “WinCC flexible 2008 Compact/Standard/Advanced, User,s Manual“, Edition 07/2008.
- [4] Stankov S, Ičić Z, Prenos podataka u sistemima za nadzor i upravljanje toplotnim postrojenjima, 41 međunarodni Kongres o grejanju, hlađenju i klimatizaciji, Zbornik radova, (str. 269 ÷ 279), ISBN: 978–86–81505–55–7, Izdavač: SMEITS, Beograd, 2010.

СЕОСКИ ВОДОВОДИ НА ТЕРИТОРИЈИ ГРАДА КРАЉЕВА

RURAL WATER SUPPLY SYSTEMS ON THE TERRITORY OF THE TOWN OF KRALJEVO

ЗОРАН ДИМИТРИЈЕВИЋ¹, ДРАГАН МАРИНОВИЋ²,
НЕБОЈША ДИМИТРИЈЕВИЋ³

Резиме: Град Краљево је по површини једна од највећих градска целина на територији Републике Србије са аспекта површине која износи 1529,0 m². Према попису из 2011. град има око 125.000 становника од тога око 50% на сеоском подручју. Узевши критеријуме из важећег Закона о водама Р. Србије о организованим водоводима на сеоском подручју (водна тела која се користе за снабдевање водом за пиће, а код којих је просечно захватање воде веће од 10 m³/дан, или служе за снабдевање водом за пиће више од 50 становника) на целокупној територији града има 136 организованих сеоских водовода. Овај рад третира 5 великих водовода са тенденцијом да покаже стање у њима са аспекта доступне количине воде и потреба становништва, као и квалитета исте. Анализа протока и притисака је обављено на водоводима, као и анализа праћење квалитета воде, са анализама стања и смерницама за даљи рад.

Кључне речи: сеоски водоводи, количине воде, квалитет воде

Abstract: Town Kraljevo is the surface of one of the continent's largest city in the Republic of Serbia in terms of surface area, which is 1529.0 m². According to the 2011 census, the town has about 125.000 inhabitants, of whom about 50% in the rural area. Taking the criteria of the existing Law on Waters of the Republic of Serbia organized water supply in the rural area (water bodies used for drinking water supply, and where the average water intake of more than 10 m³/day, or used to supply drinking water to more 50 inhabitants) in the entire territory of the city there are about 136 organized rural water supply. This work treats the 5 big waterworks with a tendency to show a state in them in terms of the amount of water available and the needs of the population and the quality of the same. Analysis of flow and pressure is carried out on the water supply, as well as monitoring and analysis of exactly the same quality of water, with the analysis of the situation and guidance for further work.

Key words: rural waterworks, water quantity, water quality

1. Увод

Краљевачка котлина припада средишњем делу Западног Поморавља. По-

¹Зоран Димитријевић, дипл. инж. грађ, ЈКП „Водовод”, 27. марта 2, Краљево

²др Драган Мариновић, Завод за јавно здравље, Слободана Пенезића 16, Краљево

³др мед. Небојша Димитријевић, Завод за јавно здравље, Слободана Пенезића 16, Краљево

дручје општине Краљево се налази у средњем току реке Западне Мораве и доњем току реке Ибра. Ово подручје захвата и доњи ток реке Груже и целе сливове река: Лопатнице, Рибнице и Чукојевачке реке.

Централни део града се развио на широком дну котлине, на месту где се Ибар улива у Западну Мораву и налази се на надморској висини од 203-208 m. Град Краљево се састоји се од 8 градских и 60 приградских и сеоских месних заједница, са укупно 92 насељена дела. Према подацима пописа становништва из 2011. године, сам град броји 68.749, док на територији читаве општине живи 125.488 становника.

Наша општина се одликује знатним бројем сеоског становништва. По попису из 2002. год. у сеоским МЗ живи 48,3% становника од укупног броја на целој територији града, а у 2011. год. 45,2 % што износи 56.739 становника. Од укупног броја становника који живе на селу, око 50% се бави пољопривредном производњом.

Интензивни процеси индустријализације и урбанизације осамдесетих година, као и примена агротехнике и агрохемије, условили су смањење пољопривредне популације на селу. Међутим, без обзира на смањење пољопривредног становништва, проблем села остаје и даље веома актуелан посебно са аспекта екологије и заштите животне средине, а нарочито са гледишта нужности асанације и реорганизације.

Просечна количина падавина на територији града износи 794,4 mm. У вегетационом периоду падне просечно 436,6 mm падавина или нешто више (58,26%) од половине укупних годишњих падавина.

На основу просечних вишегодишњих вредности температуре ваздуха и количине атмосферских падавина, као и релативне влажности ваздуха, клима нашег града може се окарактерисати као умерено топла и умерено влажна. Њу карактеришу прилично благе зиме, при чему је земљиште снежним покривачем заштићено од јачег хлађења, те не долази до његовог замрзавања, чак ни у плитком површинском слоју. Лето је, пак доста топло, с веома неуједначеним распоредом падавина током појединих година. Максимум падавина јавља се у периоду мај-јун, који смењује сув период јул-септембар. Оно што посебно карактерише режим влажења ове котлине је веома неуједначен распоред падавина током разних година, тј. изражено је смењивање влажних и сушних година.

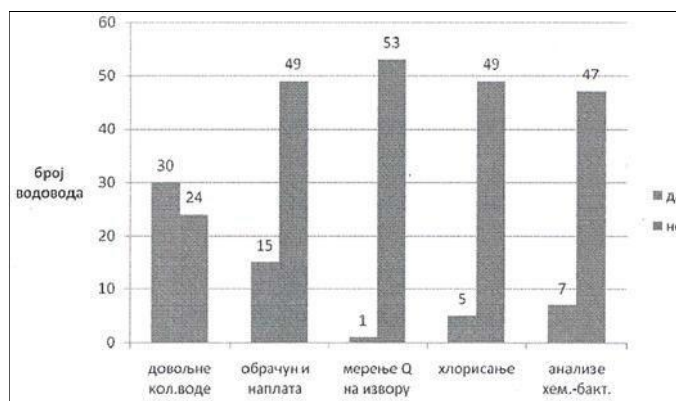
2. Постојеће стање

Приликом анализе постојећег стања приступило се обиласку већих водовода просечног захватања воде од 10 m³/дан и извршен увид у целокупан водоводни систем почев од изворишта, дистрибутивне мреже и осталих објеката у систему све до потрошача. Радови су изведени уз помоћ и организацију Одељења за заштиту животне средине града Краљева. Том приликом се обратила пажња на више параметара који одражавају стање целокупног

водоводног система. Такав приступ је приказан у табели 1 и дијаграму - слика бр.1.

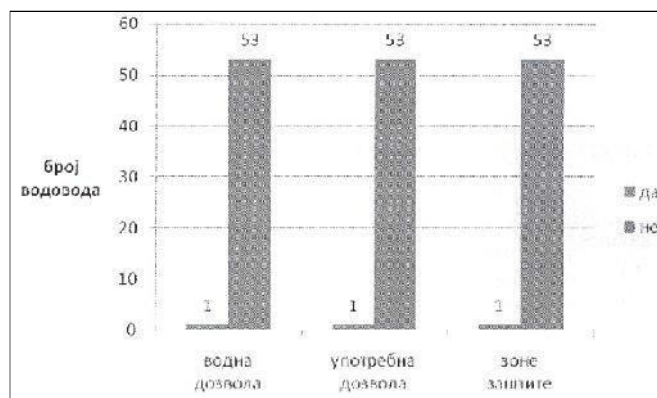
Табела 1. Параметри који одражавају стање водоводног система

да/не	довољне кол.воде	обрачун и наплата	мерење Q на извору	хлорисање	анализе хем.-бакт.
да	30	15	1	5	7
не	24	49	53	49	47



Слика 1. Параметри који одражавају стање водоводног система

Пресек стања који дефинише правни и институционални аспект сеоских водовода садржан је у табели 2 и слици 2.



Слика 2. Пресек стања који дефинише правни и институционални сеоских водовода

Табела 2. Пресек стања

да/не	водна дозвола	употребна дозвола	Зоне заштите
да	1	1	1
не	53	53	53

2.1. Мерење протока и притиска

Мерења која се спроводе приликом додатне анализе рада у сеоским водоводима вршена су применом преносних ултразвучних мерача протока ткзв. UDM Флексим и сондама притисака на местима код потрошача најближим од места пласмана воде (пумпне станице) ка потрошачима. На местима где су постојали добри предуслови за ламинарно течење сматра се да грешка може ићи до +5% у односу на стварно стање. Јединица која је коришћена приликом рада за проток јесте $m^3/час$ са периодом аквизиције вредности на $t=2$ минута. Резултати мерења протока при пласману воде ка потрошачима једног села су приказани на слици 3.



Слика 3. Резултати мерења протока при пласману воде

У току даљег рада извршен је обилазак још 4 већа и репрезентативна сеоска водовода и при том се дошло до допунских информација о постојећој потрошњи, резервоарском простору, притисцима непосредно поред пумпних станица, број домаћинстава које користе воду са система, те процењена издашност изворишта. Све то је сагледано у табели 3, која је приложена у даљем тексту.

Табела 3. Резултати мерења протока при пласману воде

назив села	мерена потрошња (l/sec)	Процењена издашност (l/sec)	Притисак (бар)	Рез. простор (m^3)	број домаћ.	Процена потреба l/sec
Тавник	4,6	17	8,5	970*	260	8,74"
Лађеџци	2,5*	16	2,5	50	290	6,58
Милочај 1	1,5	2	12	50	143	3,24
Милочај 2	3	2*	7,5	50	132	2,99
Топлик	**	2,5	6,1	300	786	15,28

* -информација од мештана

** -нису постојали предуслови за мерење

" -укључена и привреда

5. Хигијенска исправност воде

Обављана су микробиолошка и физичко-хемијска испитивања према параметрима који су одређени методологијом СЗО, у складу са предлогом пројекта, а методе и вредности оцењиваних параметара биле су према Правилнику о хигијенској исправности воде за пиће (Сл. Лист СРЈ број 42/98 и 44/ 99). У склопу микробиолошких испитивања мерен је само параметар *Escherichia coli* (MF техника), а међу наведеним параметрима физичко-хемијског испитивања (углавном из „А обима“) испитиван је и садржај тешког метала арсена што је дало нову и комплетнију слику квалитета воде за пиће (прилог: табела граничних вредности). Граничне вредности за микробиолошке и физичко-хемијске параметре су дате у доњим табелама.

Табела 4. Параметри микробиолошког испитивања

Параметар	Јединица мере	Измерена вредност	Прописана вредност
<i>Escherichia coli</i> (MF техника)	100 ml	< 1cfu	Није дозвољено присуство

Табела 5. Параметри физичко-хемијског испитивања

Параметар	Јединица мере	Доња гр. вредност	Горња гр. вредност
Температура	°C	-	-
Мирис и укус	поен	-	0
Боја	°Co Pt скале	-	5
pH вредност	-	6,8	8,5
Мутноћа	NTU	-	5
Резидуални хлор	mg/l	-	0,5
Амонијак NH ₃	mg/l	-	1
Нитрати NO ₃	mg/l	-	50
Електропроводљивост	μS/cm 20 °C	-	1000
Манган Mn	mg/l	-	0,05
Арсен As	mg/l	-	0,01

Испитивање хемијско-бактериолошке исправности рађене на 35. узорака сеоских водовода према брзој методи процене квалитета воде и дате су у табели 6.

Табела 6. Испитивање хемијско-бактериолошке исправности

Мали водоводни системи (МВС) Место и назив водовода	Микро-биолошки исправан	Физичкохемијски исправан	Хигијенски исправан	Узрок неисправности
Драгосињици	да	да	да	-
Гоч-наставна база Шум.факул.	да	да	да	-
Гоч-дечје одмаралиште	да	не	не	Снижена рН вредност 5,53
Гоч- хотел Добре воде	да	не	не	Снижена рН вредност 6,45
Сирча „Морава 1“	да	да	да	-
Оплаћи „Избице“	да	не	не	Повећан садржај арсена 0,033 mg/l
Мусина Река „Димитријевићи“	да	да	да	-
Мусина Река „Јоковићи“	да	да	да	-
Врба „Изворац“	да	да	да	-
Врба „Каменац“	да	да	да	-
Ратина „Бубан“	да	да	да	-
Ратина „Вучинићи“	да	да	да	-
Метикоши „Врело лаз“	не	да	не	Escherichia coli, 2 cfu u 100 ml
Метикоши „Брђанија“	да	да	да	-
Милочај водовод бр. 1	да	да	да	-
Милочај водовод бр. 2	да	не	не	Повећан садржај арсена 0,019 mg/l и мангана 0,370 mg/l
Тавник „Тавник“	да	да	да	-
Тавник „Бадовића Бара“	да	да	да	-
Јовац „Врело Берановац-Јовац“	да	не	не	Повећана рН вредност 8,71
Жича „Лештар“	да	да	да	-

Мали водоводни системи (МВС) Место и назив водовода	Микро-биолошки исправан	Физичкохе-мијски исправан	Хигијенски исправан	Узрок неисправности
Жича „Чаковац“	не	да	не	Escherichia coli, 12 cfu u 100 ml
Жича „Видосаве-Бела стена“	не	да	не	Escherichia coli, 1 cfu u 100 ml
Дракчићи „Дукића Мала“	да	не	не	Повећана мутноћа 5,95 NTU
Дракчиће „Ружића Брдо-Гајићи“	да	да	да	-
Роћевићи „Јастребар“	не	да	не	Escherichia coli, 5 cfu u 100 ml
Врдила „Перишићи-Буковићи“	не	да	не	Escherichia coli, 21 cfu u 100 ml
Дракчићи „Дукићи“	да	не	не	Повећан садржај амонијака 1,119 mg/l
Врдила „Гвозденовићи“	не	да	не	Escherichia coli, 18 cfu u 100 ml
Јарчујак „Милишићи“	не	да	не	Escherichia coli, 8 cfu u 100 ml
Адрани „Бубан“	да	да	да	-
Јовац „Провале“	да	да	да	-
БогUTOвац „Замчање“	не	не	не	Escherichia coli, 9 cfu u 100 ml Повећана рН вредност 8,64
БогUTOвац „Стари водовод“	да	да	да	-
Годачица „Брзак“	не	да	не	Escherichia coli, 6 cfu u 100 ml
Чукојевац „Буковац 2“	да	да	да	-
УКУПНО испитано:35	Неисправно: 9	Неисправно: 8	Неисправно: 16	

Брзом проценом квалитета воде за пиће у сеоским срединама према методологији СЗО (RADWQ) у оквиру националне студије која је спроведена добијени су резултати који показују да од 35 узорака воде за пиће анализираних из малих водоводних система - сеоских водовода 16 узорака воде за пиће је било хигијенски неисправно. У бактериолошком погледу хигијенски неисправно била је четвртина испитаних водовода, а у физичко-хемијском погледу 22,85%.

Најчешћи узроци физичко-хемијске неисправности били су неадекватна рН вредност, али и садржај амонијака и тешких метала мангана и арсена. Посебно треба истаћи повећану концентрацију арсена у водоводима села Милочај и Опланићи, чија су изворишта под планином Котленик, која је давно угашени вулкан, што говори да минерални састав ових стена има утицај на квалитет воде у извориштима и да треба спровести шири обим анализа ових вода.

Континуирана дезинфекција воде за пиће је обављана само у 2 од 35 испитиваних водовода. Спроведене су анкете о стању на свим водоводима и закључак је да су углавном сви сем три водовода на Гочу нарушене и оштећене инфраструктуре (каптаже, резервоара и инсталација) и под високим степеном ризика, нарочито у ванредним ситуацијама и приликом великих падавина и бујичних поплава.

Због тога је квалитет воде и здравље корисника воде из ових водовода још више угрожено него што су показали резултати хигијенске исправности воде.

6. Примена правног и институционалног оквира

Град Краљево покушавајући да реши основни проблем, а то је институционални оквир решавања проблема сеоских водовода на својој територији, припремио је преко свог Одељења за заштиту животне средине и других органа предлог Одлуке о општим условима за одржавање и коришћење јавног (локалног) водовода. Основне одредбе овог предлога су садржане у следећем:

- Јавно снабдевање водом за пиће у сеоским насељима може обављати јавно комунално предузеће, комунално предузеће за локални водовод, као привредни субјекат или Водна задруга, као привредно друштво, у којима је већински власник водозавода од најмање 51% град Краљево.
- О одржавању и искоришћавању локалних водовода стара се јавно комунално или друго предузеће, или Водна задруга (у даљем тексту: Давалац услуге).
- Радове на одржавању локалних водовода Давалац услуге дужан је уговором поверити јавном комуналном предузећу или другом предузећу регистрованој за обављање те делатности (у даљем тексту: овлашћено предузеће).
- Контролу квалитета воде за пиће Давалац услуге дужан је уговором поверити овлашћеној здравственој установи.

- Водна задруга - је облик организовања задругара као корисника воде који на основу једнаког права управљају јавним снабдевањем воде у сеоским насељима.

Надзор над применама ове Одлуке и над законитошћу рада Даваоца услуге врши комунални инспектор, односно грађевински инспектор, као и комунална полиција у складу са свим законом утврђеним овлашћењима.

Очекује се расправа у скупштини града о овом предлогу и његово усвајање што пре.

4. Закључак

Целокупном анализом података са поменутих 54 водовода са аспекта техничког стања, као и на основу 35 узорака квалитета воде за пиће, дошло се до закључка да су водоводи у прилично лошем стању.

Притом смо дефинисали најозбиљнијих проблеме у постојећим сеоским системима водоснабдевања које треба решавати:

- Мале расположиве количине воде - слаба изадашност извора
- Непостојање зона заштите изворишта
- Непостојање употребних дозвола
- Нерационална потрошња
- Велики губици воде у систему
- Неадекватни профили цевовода
- Ниски притисци у систему
- Велика старост уграђених цевовода и објеката
- Неадекватно одржавање система
- Непостојање акумулисаних средстава за рад
- Недостатак резервоарског простора или неадекватно коришћење
- Високи трошкови струје
- Лош квалитет воде и недостатак дезинфекције исте.

Поред ових конкретних проблема са терена као најозбиљнији се намеће недостатак институционалне компоненте проблема која није прецизно дефинисана нашим законима, а све ради јасног означавања титулара који газдује и који има одговорност, као и права која му омогућују да обезбеди довољно квалитетне воде за пиће.

Тек решавањем овог проблема и обезбеђивањем услова за примену законских решења могуће је говорити о почетку стварног решавања проблема воде за пиће у сеоским срединама. Такво решење је потребно хитно изнаћи како би се постигли циљеви одрживог руралног развоја, осигурао остатак становништва на селу и сачувало њихово здравље.

5. Литература

- [1] Милоје Милојевић, Снабдевање водом и канализација насеља, Грађевински факултет и Научна књига, Београд, 1990.
- [2] Стандардне методе за испитивање хигијенске исправности, Вода за пиће, Привредни преглед, Београд, 1990.
- [3] Гађеша С, Клашња М, Технологија воде и отпадних вода, Дуга, Београд 1994.
- [4] Уредба о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање, Службени гласник РС. 67/11.
- [5] Д. Мариновић, М. Стојановић, Д. Поповић, Квалитет воде сеоских водовода, Зборник радова ВИК 2012 Вршац.
- [6] Актуелни проблеми и уштеде у предузећима воде и канализације, Удружење за технологију воде и санитарно инжињерство, Београд, 2012.
- [7] Д. Мариновић, Квалитет воде за пиће из сеоских водовода после мајских поплава 2014. године у околини гада Краљева, Зборник радова ВИК, Вршац 2015.

SANACIJA ČELIČNOG CJEVOVODA REGIONALNOG VODOVODA CRNOGORSKO PRIMORJE METODOM BEZ ISKOPAVANJA

REGIONAL WATER SUPPLYING SYSTEM “CRNOGORSKO PRIMORJE“ (MONTENEGRO COAST) STEEL PIPELINE REHABILITATION USING NO DIGGING METHOD

SVJETLANA LALIĆ¹, IVAN ŠPADIJER², MILORAD IVANOVIĆ³

Rezime: U okviru regionalnog vodovodnog sistema Crnogorsko primorje, čelični cjevovod 550 mm i 500 mm na dionici između pumpne stanice (PS) Budva - prekidne komore (PK) “Prijevor” - PK “Tivat” - PS „Pod Kuk“ je izgrađen prije 30 godina. Pojedine dionice su povremeno bile u funkciji i to bez katodne zaštite. Položene u dosta agresivnoj sredini, imale su niz oštećenja cjevovoda. Na nekim dionicama je izvršena zamjena čeličnih cijevi klasičnim načinom, a ne nekim se izvršilo saniranje cjevovoda metodom bez iskopavanja rova -CIPP („Cured in place pipe“). Navedenom metodom se postojeći cjevovod oblaže materijalom posebnih karakteristika, sertifikovanim za korišćenje u cjevovodima za vodosnabdijevanje, sa ciljem eliminisanja oštećenja cjevovoda, smanjenja hrapavosti cijevi i linearnih gubitaka, odnosno povećanja pouzdanosti sistema. U radu su data iskustva na saniranju cjevovoda za vodosnabdijevanje CIPP metodom oblaganja.

Gljučne riječi: rehabilitacija cjevovoda, metoda bez kopanja, CIPP metoda oblaganja

Abstract: The section of Regional Water Supplying System: pumping station (PS) Budva - Pressure break chamber (PBC) Prijevor – PBC Tivat – PS Podkuk, consisting of steel pipes DN 550 and 500, has been constructed 30 years ago. Some sections were temporarily in function but without cathodic protection. Pipes were laid in aggressive soil, which resulted in many damages. Some sections were replaced using classic method and the rest of the pipeline sections were rehabilitated using no digging method – CIPP (cured in place pipe). This method includes lining of the existing pipeline with certified material that has specific characteristics for use on the water supply pipelines, with the purpose of pipeline rehabilitation, decrease of pipe roughness and linear losses, i.e. system reliability increase. This paper presents experience of the water supply pipeline rehabilitation using CIPP lining method.

Key words: pipeline rehabilitation, no digging method, CIPP lining

¹Svjetlana Lalić, dipl. inž. građ, JP “Regionalni vodovod Crnogorsko primorje” Budva, Trg sunca bb, Budva, Crna Gora

²Ivan Špadijer, dipl. inž. maš, JP “Regionalni vodovod Crnogorsko primorje” Budva, Trg sunca bb, Budva, Crna Gora

³Milorad Ivanović, dipl. inž. geod, JP “Regionalni vodovod Crnogorsko primorje” Budva, Trg sunca bb, Budva, Crna Gora

1. Uvod

Nakon višedecenijskog perioda nekontrolisanih redukcija u vodosnabdijevanju Crnogorskog primorja, prvi put u ljetnjoj sezoni 2010, su svi potrošači na teritoriji Tivta, Kotora i Budve bili uredno snabdjeveni vodom za piće kvaliteta u skladu sa u tom periodu važećim Pravilnikom o higijenskoj ispravnosti vode za piće [1] kada je Regionalni vodovodni sistem (RVS) počeo sa radom. RVS se sastoji od kontinentalnog kraka - od Skadarskog jezera do Đurmana, od sjevernog kraka - od Đurmana do Herceg Novog i od južnog kraka - od Đurmana do Ulcinja. Južni krak je počeo sa radom za snabdjevanje Bara 2011. i za snabdjevanje Ulcinja 2012. godine.

Veći dio RVS je izgrađen od 2008. do 2010. i to dionice od Izvorišta Bolje sestre do Budve i Bara. Da bi se na RVS priključile opštine Tivat i Kotor potrebno je bilo izvršiti sanaciju čeličnog cjevovoda profila 550 mm (558/7,1) i 500 mm (508/7,1) na dionici Budva - Tivat koja je izgrađena u periodu 1986. i 1987. Pojedine dionice ovog cjevovoda su bile u funkciji u okviru sistema za vodosnabdijevanje Budve i Tivta. Na ovom čeličnom cjevovodu na dionici pumpna stanica (PS) Budva - prekidne komore (PK) "Prijevor" - PK "Tivat" - PS „Pod Kuk, položenom u dosta agresivnom tlu, bez katodne zaštite pojavilo se niz oštećenja.

U periodu gradnje dijela RVS od Herceg Novog do Budve bilo je vrlo teško dobiti dozvolu da se cjevovod polaže u magistralnom putu, dok je bilo dosta lakše riješiti imovinsko pravne odnose i polagati cjevovode kroz zemljište u privatnom vlasništvu. U periodu kada je bilo potrebno izvršiti rehabilitaciju ovog cjevovoda od 2008. do 2010. bio je vrlo otežan i dugotrajan proces rješavanja imovinsko pravnih odnosa i polaganja cjevovoda u zemljište u privatnom vlasništvu. Sve ovo je podstaklo da se razmotri korištenje metode saniranja cjevovoda bez kopanja.

Izvršen je pregled cjevovoda i na osnovu stanja cjevovoda, na pojedinim dionicama je izvršena zamjena čeličnih cijevi klasičnim načinom, a gdje god je to bilo moguće izvršilo se saniranje cjevovoda metodom bez iskopavanja rova i to oblaganjem cementnim malterom i CIPP („Cured in place pipe“ – saniranje na mjestu cijevi) metodom. Navedenom metodom se postojeći cjevovod oblaže materijalom posebnih karakteristika, sertifikovanim za korišćenje u cjevovodima za vodosnabdijevanje, sa ciljem eliminisanja oštećenja cjevovoda, smanjenja hrapavosti cijevi i linearnih gubitaka, odnosno povećanja pouzdanosti sistema. U radu su data iskustva na saniranju cjevovoda za vodosnabdjevanje CIPP metodom oblaganja.

2. Generalni prikaz CIPP metode i prednosti korišćenja

Metoda rehabilitacije cijevi bez kopanja je tehnologija koja u zavisnosti od oštećenja postojeće cijevi koristi postojeću cijev kao podlogu za nanošenje novog zaštitnog sloja ili postaje sastavni dio nove cijevi.

Osnovna podjela metoda rehabilitacije cjevovoda metodama bez kopanja se može izvršiti na nestrukturne i strukturne.

Nestrukturna sanacija cjevovoda se koristi kod manje oštećenog cjevovoda i sastoji se od oblaganja unutrašnjosti cijevi postavljanjem tankog zaštitnog – anti

korozivnog sloja. Ovaj sloj dugoročno štiti cjevovod, ali ne obezbjeđuje strukturni integritet cjevovoda, odnosno nosivost i otpornost na spoljašnje i unutrašnje pritiske. Za cjevovode za pitku vodu najčešće se primjenjuju oblaganje cementnim malterom i epoksidom. U okviru rehabilitacije cjevovoda regionalnog vodovnog sistema korišćeno je oblaganje cementnim malterom.

Strukturne metode rehabilitacije cjevovoda se koriste kod cjevovoda sa većim oštećenjima i znatno poboljšavaju nosivost postojećeg cjevovoda. Metode se sastoje u postavljanje vodonepropusne strukture koja je u neposrednom kontaktu sa očišćenom starom, postojećom cijevi. Najzastupljenije metode saniranja cjevovoda strukturnom metodom prema [2] su:

- Uklizavanje (Sliplining),
- Nova cijev oformljena u staroj (Cured-In-Place Pipe – CIPP),
- Presavijena i oformljena cijev (Fold and Form Pipe),
- Tijesno ugrađena cijev (Close-Fit Pipe).

U okviru rehabilitacije čeličnog cjevovoda na dionici PS Budva - PK Prijedor – PK Tivat – PS Podkuk koristila se CIPP metoda.

CIPP metoda ima veliku prednost nad ostalim metodama jer je smanjenje prečnika postojeće cijevi minimalno, što je veoma bitno sa stanovišta postizanja maksimalnog proticaja na postojećim cjevovodima, imajući u vidu da su postojeći cjevovodi postavljeni u prethodnim planskim periodima kada je uglavnom bila predviđena manja potrebna količina vode u odnosu na današnji period. Ovom metodom cijev se sanira u samoj cijevi tako što se fabrički proizvedena cijev od tkanine u kombinaciji sa termo-vezujućim smolama (tekući poliester ili dvokomponentni epoksidni materijal) uvlači u postojeću cijev. Nakon uvlačenja sanacione cijevi u postojeću cijev, kroz cjevovod se propušta para, što dovodi do stvrdnjavanja smolastog materijala i njegovog sjedinjavanja sa postojećom cijevi. U novije vrijeme u primjeni je i aparatura za otvrdnjavanje u cijev uvučenog materijala sa izvorom UV zraka koja se provlači kroz cijev kontrolisanom brzinom. Debljina sloja za saniranje cijevi zavisi od kvaliteta postojeće cijevi, jer slabiji kvalitet postojeće cijevi zahtijeva veću potrebnu debljinu, odnosno bolji kvalitet postojeće cijevi zahtijeva manju debljinu nove – unutrašnje cijevi – sanacionog materijala.

2. Prikaz CIPP metode na primjeru rehabilitacije RVS

U 2007. godini odlučeno je da se razmotri mogućnost saniranja cjevovoda na dionici PS Budva -PK Prijedor - PK Tivat. Prvobitno je izvršen pregled cjevovoda CCTV kamerom (closed circuit television – zatvorena kružna televizijska kamera), koja prolazi kroz cjevovod i vrši snimanje unutrašnjosti cjevovoda, i utvrđeno je da na čeličnom cjevovodu ima dosta oštećenja.

Razmatrala se mogućnost da se pristupi saniranju cjevovoda CIPP metodom zbog brojnih prednosti ove metode kao što su:

- izbjegavanje problema eksproprijacije;

- vršenje iskopa zemljanog materijala u vrlo malom obimu i to na mjestima pristupu cjevovodu;
- neometano odvijanje saobraćaja na putevima uz cjevovod,
- nepostojanje viška zemljanog materijala za odvoženje i deponovanje,
- minimalni troškovi asfaltiranja i dovođenja u prvobitno stanje;
- kraći rokovi u odnosu na izgradnju novog cjevovoda klasičnom metodom,
- nepostojanje potrebe za izradom glavnog projekta i pribavljanjem građevinske dozvole.

Na osnovu iskustava u gradnji RVS na dionici Đurmani Budva, Đurmani Bar i susretanja sa mnogim problemima u vezi eksproprijacije privatnog zemljišta, i problema u odvijanju saobraćaja usljed izgradnje cjevovoda magistralom, odlučilo se da se izvrši sanacija cjevovoda na ovoj dionici metodom bez kopanja i to CIPP metodom. U periodu sanacije (2009-2010.) bila je pribavljena građevinska dozvola za izgradnju RVS (2008-2012.) Za sanaciju dionice PK Tivat – PS Podkuk ova metoda je imala još jednu prednost, od strane nadležnog Direktorata za građevinarstvo pri Ministarstvu održivog razvoja i turizma dobijeno je Mišljenje da za predmetne radove na sanaciji cjevovoda nije neophodna građevinska dozvola, prema važećem Zakonu o uređenju prostora i izgradnji objekata [3].

Firme koje su izvodile radove, na sanaciji cjevovoda su “Jedinstvo”, Srbija, sa podizvođačem, firmom “Diringer & Scheidel” iz Njemačke na dionici PS Budva – PK Tivat (SANFLEX metoda – uvlačenje „čarape“) i na dionici PK Tivat –PS Podkuk, Ind-Eko, Hrvatska sa materijalom za oblaganje cijevi firme Sekisui.

Dionica PS Budva – PK Prjevor

Saniranje cjevovoda je vršeno u dvije etape: pripremni radovi i sanacija cjevovoda. U prvoj etapi su urađena pristupna okna i otvori na cjevovodu za pristup kameri i za pristup za čišćenje cjevovoda. Izvršeno je mehaničko čišćenje cjevovoda, urađen je snimak CCTV kamerom da bi se snimio stepen oštećenja cjevovoda, izvršena je hidraulička proba vazduhom na osnovu čega se utvrdio stepen oštećenja cjevovoda. Na osnovu nalaza o kvalitetu cjevovoda u okviru prve etape, i uz razmatranje uslova pristupačnosti cjevovodu, opredjeljivalo se za strukturnu (CIPP metodu), odnosno nestrukturnu sanaciju (oblaganje cementnim malterom).



Slika 1. Priprema sanacionog materijala - SANFLEX

Od ukupno saniranih 19,6 km cjevovoda na dionici PS Budva – PK Prijevor – PK Tivat zamjenjeno je klasičnim načinom kopanjem i polaganjem nove cijevi 3 km cjevovoda, 13,8 km cjevovoda je sanirano metodom oblaganja cementnim malterom, a CIPP metodom je sanirano 2,8 km.

Nakon završetka izgradnje dijela RVS do Budve i Bara (2010.) izvršeno je i saniranje čeličnog cjevovoda 550 mm na dionici distribucioni odvojak (DO) Bijeli do – PS Budva u dužini od 175 m.

Važno je napomenuti da proizvođač sancionog materijala daje garanciju na vijek trajanja saniranog cjevovoda u dužini od 40 godina.



Slika 2. Priprema i uvlačenje sanacionog materijala dionica PK Prijevor – PK Tivat

Dionica PK Prijevor – PS Podkuk

U prvoj polovini 2016. i izvršeni su radovi na sanaciji čeličnog cjevovoda na dionici PK Tivat – PS Podkuk u dužini od 645 m profila 500 mm i 550 mm koji se privremeno koristi u okviru tivatskog vodovodnog sistema. Kao i prethodno, radovi na sanaciji cjevovoda izvođeni su u dvije etape. Pripremni radovi, kada je kao i prethodno obavljeno inicijalno CCTV snimanje stanja površine unutrašnjosti cjevovoda, su trajali 5 dana. Radovi na sanaciji cjevovoda koji su vršeni 40-ak dana su bili mehaničko čišćenje unutrašnjosti cjevovoda, uvlačenje sanacionog materijala, kontrola kvaliteta radova. Nakon toga su slijedili završni radovi: vraćnje u prvobitno stanje, ispiranje i dezinfekcija.

Najprije se iskopalo 7 radnih jama u kojima je vršeno parcijalno izrezivanje odsječaka cjevovoda, radi formiranja pristupnog otvora za snimanje unutrašnjosti cjevovoda CCTV kamerom. Udaljenost između radnih jama određena je na osnovu tehničke mogućnosti kamere za snimanje unutrašnjosti cjevovoda, na osnovu nagiba terena i na osnovu dužine kabla za napajanje kamere koji iznosi cca 200 m. Nakon pregleda kamerom, izvođač radova je dostavio Izvještaj o inicijalnom vizuelnom pregledu CCTV kamerom i izvršenoj inspekciji cjevovoda. Nakon izvršene inspekcije ponovo su zavareni izrezani dijelovi cjevovoda na ispitnim otvorima, a radne jame su propisno obezbjeđene do nastavka radova u sljedećoj fazi. Izvršena je hidraulička proba vodom i ustanovljeno je oštećenje cjevovoda na više mjesta.



Slika 3. PK Tivat – PS Podkuk – unutrašnjost cijevi - uvlačenje sanacionog materijala

Druga etapa radova na sanaciji cjevovoda počela je mjesec dana poslije prve etape, čekala se izrada sanacionog materijala naručenog po izvršenoj inspekciji cjevovoda. Proizvodnja sanacionog materijala je vršena na osnovu prečnika, dužina dionica i stepena oštećenja cjevovoda utvrđenih prilikom inicijalnog snimanja i hidrauličke probe. U radnim jamama pristupilo se izrezivanju dijelova cjevovoda u dužinama od 2-2,5 m. Prije same sanacije izvršeno je čišćenje cjevovoda mehaničkim putem i vodom pod pritiskom. Nakon čišćenja izvršeno je snimanje unutrašnje površine cjevovoda CCTV kamerom i pristupilo se sanaciji cjevovoda uvlačenjem sanacionog materijala između otvorenih radnih jama. Poslije uvlačenja sanacionog materijala vršeno je očvršćavanje vodenom parom. Debljina sanacionog materijala iznosi do 3,5 mm. Nakon uvlačenja sanacionog materijala montirani su čelični prstenovi za sprječavanje pomjeranja sanacionog materijala i montirani su spojni FF komadi. Nakon ponovnog spajanja cjevovoda izvršena je hidraulička proba, vanjska zaštita ugrađenih FF spojnih komada, zatrpavanje jama, punjenje i dezinfekcija cjevovoda.

4. Zaključak

Prikazana CIPP metoda o ovom slučaju je imala sljedeće prednosti u odnosu na konvencionalne metode izgradnje novog cjevovoda: cijena sanacije cijevi iznosila je do 90% cijene ugradnje nove cijevi; izbjegnuti su problemi sa imovinsko-pravnim odnosima; nije bila potrebna izrada glavnog projekta; procedura dobijanja saglasnosti za izvođenje radova je znatno kraća od procedure za dobijanje građevinske dozvole; značajno su skraćeni rokovi za pribavljanje potrebne dokumentacije i izvođenja radova; u mnogome smanjen uticaj na životnu sredinu.

5. Literatura

- [1] Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće (Sl. l. SRJ 42/98 i 44/99)
- [2] Janović M, Primjena „No dig“ tehnologija u sanaciji vodovodne mreže sa posebnim osvrtom na troškove sanacije regionalnog vodovoda za Crnogorsko primorje na dijelu Budva Tivat, Zbornik radova Vode, vodovodi i sanitarne tehnologije, Budva 2010
- [3] Zakon o uređenju prostora i izgradnji objekata (Sl. l. CG 51/08, 40/10, 34/11, 47/11, 35/13, 39/13, 33/14)

АЛОКАЦИЈА ВОДЕ НА СЛИВУ У УСЛОВИМА ОГРАНИЧЕНИХ ВОДНИХ РЕСУРСА

WATER ALOCATION ON WATERSHED IN CONDITIONS OF LIMITED WATER RESOURCES

МАРЈАН МИТИЋ¹, ДРАГАН МИЛИЋЕВИЋ²,
ЉИЉАНА АНЂЕЛКОВИЋ³

Резиме: Вода жељеног квалитета је заједнички, често оскудан ресурс, који мора да се додели различитим корисницима и супростављеним секторима. Да би се задовољили сви захтеви различитих корисника морају се доносити одлуке о томе како ће вода бити алоцирана између корисника воде и потреба које се захтевају. Алокација воде дефинише ко може да користи водне ресурсе, како, када и где, што директно утиче на вредности (економске, еколошке, социјално-културне) које појединци и друштво добијају од водних ресурса и она мора да се уради на начин који остварује економску ефикасност, социјалну једнакост и еколошку одрживост, са циљем да се максимизирају друштвене користи од воде. У овом раду дат је приказ основних принципа алокације воде применом система за подршку одлучивању на сливу са више корисника у условима ограничених водних ресурса са циљем постизања оптималне стратегије високе ефикасности и повећања економских, еколошких и социјалних добита од боље алокације воде и њеног ефикаснијег коришћења.

Кључне речи: захтеви за водом, алокација воде, систем подршке одлучивању

Abstract: Water of wanted quality is a join, often scarce resource, which must be assigned to different users and opposed sectors. To meet all the needs be made about how the water will be allocated between its users and the demanded needs. The allocation of water defines who can use the water resources, how, when and where, which directly affests the values (economical, ecological, socio-cultural) which the individual and the society receive from the water resources and it has to be done in a way which accomplishes economic efficiency, social equality and ecologic sustainability with a goal of maximizing social benefits of water. This paper gives a review of basic principles of water allocation with the use of a decision support system on a watershed with multiple users and in conditions of limited water resources with a goal of accomplishing the optimal high efficiency strategy and the increase

¹ мр Марјан Митић, дипл. инж. грађ, Универзитет у Приштини, Факултет техничких наука, Кнеза Милоша 7, Косовска Митровица

² доц. др Драган Милићевић, дипл. инж. грађ, Универзитет у Нишу, Грађевинско-архитектонски факултет, Александра Медведева 14, Ниш

³ доц. др Љиљана Анђелковић, дипл. инж. грађ, Универзитет у Приштини, Факултет техничких наука, Кнеза Милоша 7, Косовска Митровица

of economic, ecologic and social gains from better water allocation and its more efficient use.

Key words: water demands, water allocation, decision support system

1. Увод

Циљ интегралног развоја и управљања водним ресурсима јесте да се обезбеди оптимално и одрживо коришћење водних ресурса за економски и друштвени развој, уз очување и унапређење еколошких вредности животне средине. Интегрално управљање водним ресурсима је холистички приступ, који промовише координирано разматрање водних ресурса, земљишта и повезаних природних ресурса током развоја људског друштва. Оно третира слатководне ресурсе као коначан и рањив ресурс, који је од суштинског значаја за одржавање живота људи и природног окружења и као јавно добро које има друштвену и економску вредност за међусобно супростављене кориснике.

Алокација воде је кључна универзална функција интегралног управљања водним ресурсима и она мора да се уради на начин који остварује економску ефикасност, социјалну једнакост и еколошку одрживост. Алокација воде мора да буде остварена као компромис између приоритета заинтересованих страна, профитабилности и економских добити, поузданости снабдевања водом, једнакости и одрживост екосистема.

У овом раду дат је приказ основних принципа алокације воде применом система за подршку одлучивању на сливу са више корисника и ограниченим водним ресурсима са циљем повећања социјалних и економских добити од боље алокације воде и њеног ефикаснијег коришћења и указано је на њен изузетан значај на примеру северног дела Косова и Метохије.

2. Алокација водних ресурса на сливу

Вода жељеног квалитета је заједнички, често оскудан ресурс, који мора да се додели различитим секторима и корисницима укључујући водоснабдијевање и каналисање, наводњавање, индустрију, енергетику, саобраћај итд.

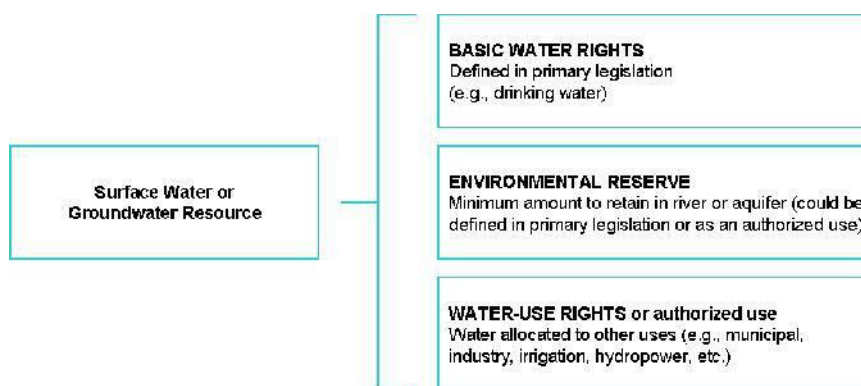
Обзиром да су ресурси воде на сливу све више искоришћени и да често нема довољно воде жељеног квалитета да би се задовољили сви захтеви различитих корисника, као што су потребе становништва, санитација, производња хране, индустрија, саобраћај, енергетика, итд. морају се доносити одлуке о томе како ће вода бити алоцирана између корисника воде и потреба које се захтевају.

Алокација воде је кључна универзална функција управљања водним ресурсима, чији је циљ да се максимизирају друштвене користи од воде. Друштвене користи се могу класификовати као економске, социјалне и еколошке, свака са одговарајућим принципом - ефикасност, једнакост и одрживост.

Под "алокацијом воде" подразумева се процес у коме се доступни водни ресурси дистрибуирају (или редистрибуирају) легитимним подносиоцима захтева. Добијена права за коришћење се издају, преносе, прегледавају или прилагођавају

као "право на коришћење воде". Приоритети за алокацију воде се могу дефинисати законом или путем стратегије развоја или планирања процеса.

Процес алокације воде генерише низ права на воду која регулишу коришћење воде унутар слива. На слици 1. разликују се "основна" права на воду, која су дефинисана законима за основне људске потребе, од "алоцираних" корисничких права на воду о којима се одлучује кроз одговарајући управни поступак. Средњи ред на слици представља "резервисану" количину водних ресурса која треба да се задржи у водотоку или аквиферу за еколошке и друге одрживе низводне потребе. Резерве за заштиту животне средине, могу бити дефинисане законски као основно право или се о њима одлучује административно кроз процес планирања водних ресурса на сливу.



Слика 1. Права на воду, резерве животне средине и корисничка права на воду

Основна права на воду генерално износе веома мали проценат од укупних водних ресурса, док су корисничка права за општинске и индустријске потребе или потребе за наводњавање далеко већа. У већини земаља, пољопривреда је највећи корисник воде и може да достигне и до 90% укупне количине искоришћене воде.

Да би систем алокације воде могао успешно да функционише, требало би сви корисници воде (или барем главни корисници) да буду идентификовани и регистровани заједно са њиховим уговореним учешћем у води која се алоцира за коришћење или чување (и условима који долазе са алокацијом), кроз успостављени систем дозвола за потребе спровођења и праћења систем алокације воде.

Важно је да се алокација воде изврши на основу њене доступности и захтева дефинисаних на основу текућих и планираних социо-економских дешавања на сливу (као што су раст становништва и раст потрошње домаћинства са побољшањем санитације). Пројекције алокације воде дају важан алат за планирање прилагођавања променама у доступности воде. Кроз ове анализе је неопходно извршити и процену захтева за водом животне средине како би се резервисао минимални проток за одржавање екосистемских услуга (укључујући пречишћавање воде и актуелни континуирани ток чисте воде).

Треба напоменути да постоје јасне везе између квалитета воде и њене доступности и да се са повећањем загађења интензивира притисак на изворе воде. Због тога су очување и заштита водних ресурса и слива од суштинског значаја. Деградација водних ресурса може имати непосредан и озбиљан утицај на водоснабдевање корисника и може довести до неадекватних перформанси система за водоснабдевање због проблема загађења и исталожавања или до напуштања система због пресушивања извора воде. Ово може утицати на здравље корисника, али може укључивати и значајне економске губитке.

Неопходно је да се интегрални развој и управљање водним ресурсима боре против оскудица воде и повећања загађења водних ресурса. Методе укључују чување и поновно коришћење воде, сакупљање воде, мере контроле загађења и управљање отпадним водама. Одговарајућа мешавина закона, политике цена и принудних мера је од суштинског значаја за оптимизацију очувања водних ресурса и њихову алокацију заинтересованим корисницима.

3. Алокација водних ресурса северног дела Косова и Метохије

3.1. Опис локације

Северно Косово је незванични назив за регион на северу Аутономне Покрајине Косово и Метохија, претежно насељен Србима, а који је након албанског проглашења независности остао под контролом Владе Србије. Простор који обухвата област северног Косова и Метохије је површине од 1.607,5 km², а захвата општине Зубин Поток (укупне површине 334 km²), Косовска Митровица (укупне површине 335 km²), Звечан (укупне површине 126,5 km²) и Лепосавић (укупне површине 536 km²). На подручју северног Косова и Метохије према проценама у 9 општина и месних заједница данас живи 55.170 становника.

У протеклим деценијама крајем 20 века становништво на овим просторима је било запошљено у бројним погонима “Трепче” као и у рудницима Копаоничке рудне области. Пољопривреда је била подређена индустријализацији и готово да је замирала, а најнижу тачку је достигла деведесетих година прошлог века.

Обрадиво земљиште, њиве, ливаде и пашњаци су углавном у приватном власништву и пољопривреда се није развијала због високог животног стандарда становништва које је било запослено у индустрији. Сточарска производња је опала за готово 10 пута.

У последњих двадесетак година делатности становништва се битно промениле. У садашњим условима живљења, становништво се преорјентисало на послове дрвопреређивачке индустрије, индустрије хране, на малу породичну производну делатност, као и земљорадњу, сточарство и воћарство. Карактеристично за становништво које живи у брдско-планинском подручју ове области је гајење пољопривредно-воћарских култура, као и сточарење, што је и раније било њихово опредељење. Доста људи је оријентисано и на производњу хране као и на мануфактурну производњу и експлоатацију шума.

3.2. Расположиви водни ресурси

Водени токови који егзистирају на овом терену, припадају сливу Црног мора, а најзначајнији су Ибар и његова највећа притока Ситница. Слив реке Ибар има релативно правилан облик, са оријентацијом северозапад-југоисток. Укупна површина слива Ибра је 8.059 km^2 , а на територији Косова и Метохије је 3.966 km^2 (49,2%). Дужина Ибра износи $272,25 \text{ km}$, а кроз Покрајину протиче у дужини од 104 km (38,2%). На 24 km узводно од Косовске Митровице на Ибру је изграђена брана висине 107.5 m , која је формирала вештачко језеро Газиводе. Акумулација Газиводе има максималну дужину од 24 km , површину од $11,9 \text{ km}^2$ и минимална запремина 0.37 km^3 . Без воде са језера Газиводе немогућ је рад Термоелектрана у Обилићу, а вода из Газиводе се користи и за снабдевање неколико општина, као и за наводњавање Метохије преко хидросистема Ибар-Лепенац. Хидрографска мрежа на посматраном подручју и акумулација Газиводе приказани су на карти (слика 2).

Средњи годишњи протицај Ибра на уливу у акумулацију Газиводе, код Рибарића износи $Q_{\text{ср}}=11,20 \text{ m}^3/\text{s}$. Досада највећи забележени протицај Ибра на уливу у акумулацију Газиводе износио је $Q_{\text{апс.макс.}}=353,20 \text{ m}^3/\text{s}$, а најмањи $Q_{\text{апс.мин.}}=0,40 \text{ m}^3/\text{s}$.

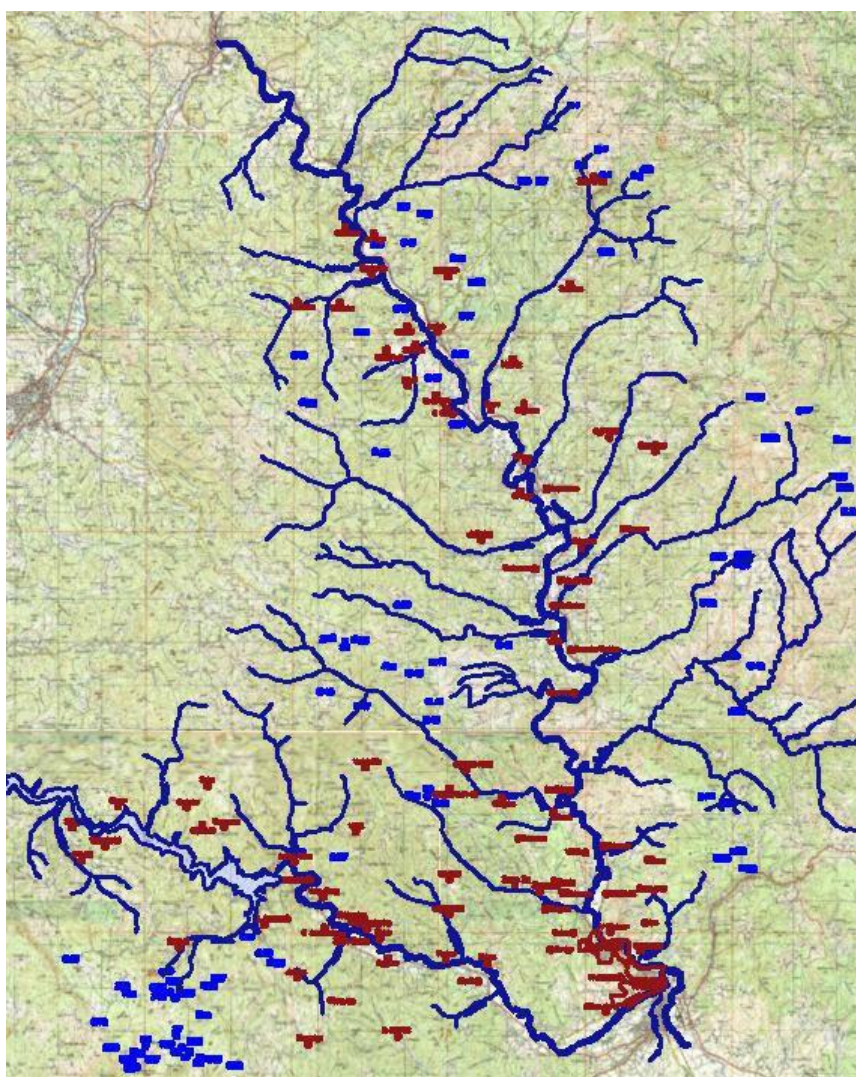
Када су у питању подземне воде анализом резултата досадашњих истраживања са аспекта осматрања режима подземних вода, као и на основу резултата добијеним рекогносцирањем терена, закључује се да је режим подземних вода недовољно проучен и да се стационарна осматрања елемената режима подземних вода не врше ни код већине каптираних извора подземних вода. За потребе израде докторске дисертације Милентијевић. Г, реализована су теренска истраживања са циљем евидентирања свих значајнијих водних појава/објеката на целокупном истражном простору-области северног дела Косова и Метохије. Положај свих регистрованих појава/извора приказан је на карти (слика 2). Укупно су регистрована 92 извора, минималног капацитета у распону од 0.067 l/s до 113 l/s . Укупни минимални капацитет свих регистрованих извора је 293.76 l/s и то: 21 каптирани извор укупног минималног капацитета 30.42 l/s , 68 извора укупног минималног капацитета 251.34 l/s и 3 термоминерална извора укупног минималног капацитета 12.00 l/s . За даљу анализу је издвојено 50 извора минималног капацитета већег од 0.5 l/s , са укупним минималним капацитетом од 273.82 l/s . Због малих капацитета експлоатација 39 извора минималног капацитета мањег од 0.5 l/s , са укупним минималним капацитетом од 7.94 l/s , не би била економски исплатива, а 3 преостала термоминерална извора укупног минималног капацитета 12.00 l/s ће се користити у балнео-терапеутске сврхе.

3.3. Корисници воде

Садашње потребе за водом у насељима на северу Косова и Метохије (слика 2.) су срачунате под претпоставком да је специфична потрошња воде $q_s=200 \text{ l/st/dan}$ и да су коефицијенти неравномерности дневне потрошње воде $K_1=1,5$ и часовне потрошње воде $K_2=2.0$. Укупне потребе за водом насеља и

индустије за северни део Косова и Метохије процењене су на $Q_{sr,dn} = 127.71$ l/s (11034.00 m³/dan), односно $Q_{max,dn} = 191.56$ l/s (16551.00 m³/dan). Због недостатка података идустијски захтеви за водом нису јасно дефинисани. Обзиром да се ради о малим идустијским захтевима (10-15 l/s) они су узете у обзир кроз потребе за водом насеља.

За будуће стање уведена је претпоставка да ће у наредних 25 година због повећања броја становника (углавном због миграција са села у град) и отварања нових идустијских погона потрошња корисника у општинама Косовска Митровица, Звечанимесној заједници Лепосавић бити повећана за 50% и да ће износити $Q_{sr,dn} = 176.22$ l/s (15225.74 m³/dan).



Слика 2. Карта водних ресурса и корисника воде северног дела Косова и Метохије