

Analiza hidrauličke veze između reke Save i podzemnih voda na izvorištu za vodosnabdevanje Obrenovca

Dragoljub Bajić, Bojan Hajdin, Dušan Polomčić, Vesna Ristić Vakanjac



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Analiza hidrauličke veze između reke Save i podzemnih voda na izvorištu za vodosnabdevanje Obrenovca | Dragoljub Bajić, Bojan Hajdin, Dušan Polomčić, Vesna Ristić Vakanjac | XVI Srpski simpozijum o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, Zlatibor, 28.09.-02.10.2022. | 2022 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0006952>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на www.dr.rgf.bg.ac.rs

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: www.dr.rgf.bg.ac.rs

ANALIZA HIDRAULIČKE VEZE IZMEĐU REKE SAVE I PODZEMNIH VODA NA IZVORIŠTU ZA VODOSNABDEVANJE OBRENOVCA

ANALYSIS OF HYDRAULIC CONNECTION BETWEEN THE SAVA RIVER AND GROUNDWATER AT THE OBRENOVAC WATER SUPPLY WELLFIELD

Dragoljub Bajić¹, Bojan Hajdin¹, Dušan Polomčić¹, Vesna Ristić Vakanjac¹

¹ Rudarsko-geološki fakultet, Đušina 7, 11000 Beograd,

E-mail: dragoljub.bajic@rgf.bg.ac.rs, bojan.hajdin@rgf.bg.ac.rs, dusan.polomcic@rgf.bg.ac.rs, vesna.ristic@rgf.bg.ac.rs

APSTRAKT: Na izvorištu „Vić bare“ formiranom u aluvijonu Save za vodosnabdevanje Obrenovca u poslednje dve decenije izvedeno je više detaljnih hidrogeoloških istraživanja u cilju utvrđivanja rezervi podzemnih voda i izdvajanja zona sanitarne zaštite. Monitoring podzemnih voda u celoj zoni izvorišta, za potrebe izrade hidrodinamičkog modela, omogućio je i hidrauličku analizu odnosa površinskih voda reke Save i podzemnih voda na izvorištu sa kojeg se trenutno zahvata do 310 l/s vode. U radu su prikazani rezultati korelacione analize, odnosno ispitivanja na osnovu obrade podataka iz više pijezometara, koji se odnose na nivo podzemnih voda i vodostaj Save. Dobijeni rezultati ukazuju da su veze između podzemnih voda i površinskih voda uslovljene prostornim položajem pijezometra a takođe ukazuju da u različitim vremenskim presecima imamo takođe različite čvrstine ovih veza što je posledica kolmatacije pijezometra, njenog zapunjavanja ili neracionalna eksploatacija voda tokom određenih vremenskih preseka. Poznavanje ovih karakteristika doprinos je racionalnijem iskorišćavanju podzemnih voda za potrebe vodosnabdevanja oko 58 000 stanovnika na području ove opštine.

Ključne reči: aluvijon, korelaciona analiza, koeficijent determinacije, režim podzemnih voda

ABSTRACT. Several detailed hydrogeological investigation campaigns have been undertaken at the Vić Bare wellfield in the Sava River alluvium to determine groundwater reserves and delineate sanitary protection zones. Groundwater monitoring of the entire wellfield for hydrodynamic modeling enabled a hydraulic analysis of the relationship between the Sava River surface water and wellfield groundwater from which 310 l/s of water is currently being extracted. The paper presents processed data from several observation wells and the results of a correlation analysis of groundwater levels and river stages. The obtained results indicate that the connections between underground water and surface water are conditioned by the spatial position of the piezometer and also indicate that in different time sections we also have different strengths of these connections, which is a consequence of piezometer clogging, its filling or irrational exploitation of water during certain time sections. Understanding of these parameters contributes to efficient use of groundwater for the public water supply of 58,000 inhabitants in Obrenovac Municipality.

Key words: alluvium, correlation analysis, coefficient of determination, groundwater regime

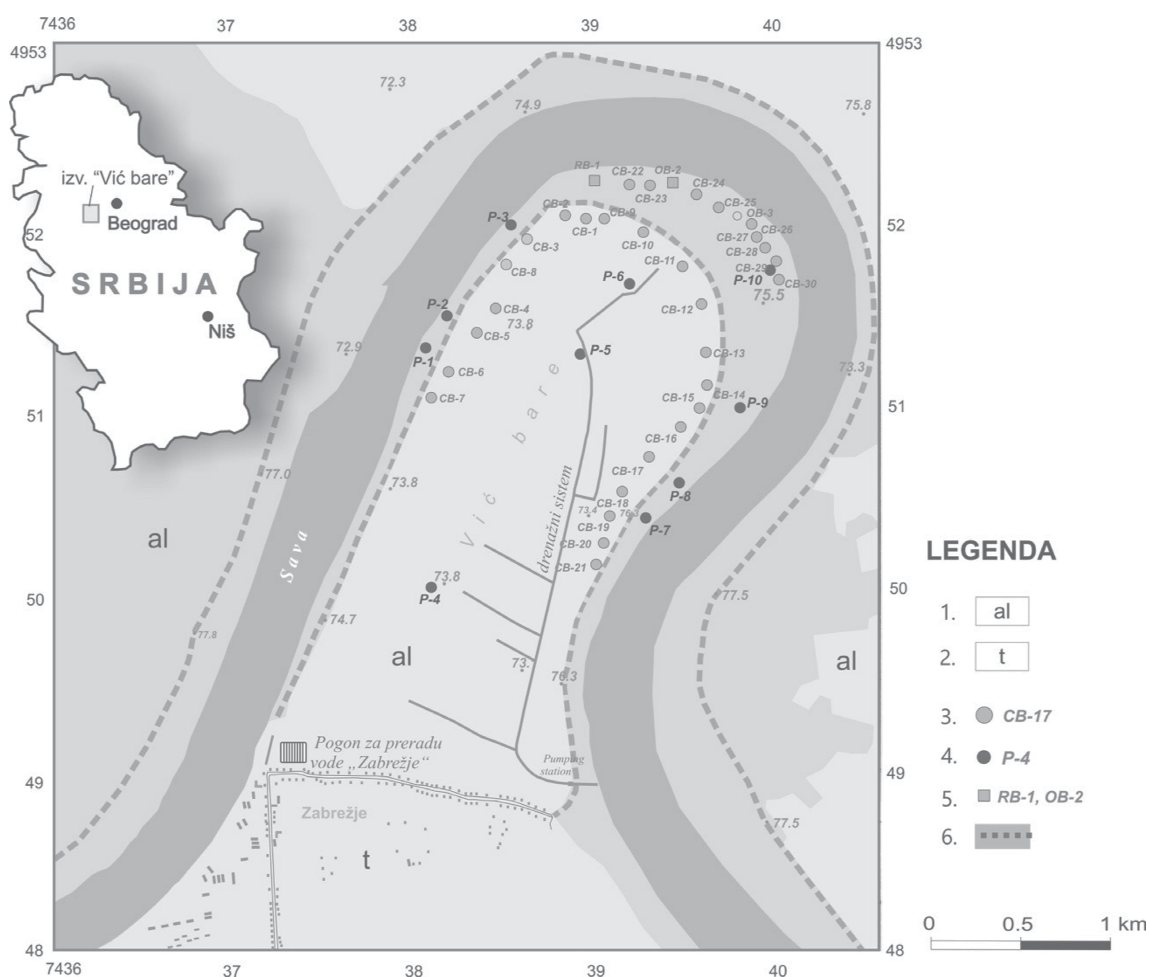
Uvod

Izvorište “Vić bare” koje se koristi za vodosnabdevanja Obrenovca, zbog svoga položaja u meandru reke Save karakteriše se specifičnim odnosom rečnih voda sa podzemnim vodama koje se na izvorištu eksploatišu. Nedovoljno poznavanje karaktera ove hidrauličke veze je u početnom periodu rada službe vodovoda stvaralo probleme u eksploataciji, što je bilo posledica nesprovođenja režimskih osmatranja podzemnih voda na području izvorišta. Početkom osamdesetih godina prošlog veka, sistem vodosnabdevanja značajno je bio ugrožen jer su zbog neracionalne potrošnje često zahvatane količine podzemnih voda koje su imale karakter nadeksploatacije uz značajno opadanje nivoa podzemnih voda u bunarima. Istraživanjima 1997. godine (Soro, Radovanović, 1997) izvršena je i prognoza efekta eksploatacije, nakon čega značaj za ovo izvorište imaju detaljna istraživanja vršena za potrebe izrade elaborata o rezervama podzemnih voda i elaborata za određivanje zona sanitarne zaštite (Stevanović & Hajdin, 2008, 2011; Bajić, 2019), vršena u periodu od 2007. do 2020. godine. U sklopu njih vršena su detaljna istraživanja i prikupljeni značajni podaci o režimu podzemnih voda koji su omogućili i poslužili da se izvrši detaljnije upoznavanje karakteristika hidrauličke povezanosti voda Save i podzemnih voda na izvorištu. Analizom vodostaja Save i nivoa podzemnih voda merenih u 10 istražnih bušotina na celom izvorištu, sračunat je koeficijent determinacije (R^2) za pojedine zone izvorišta, čime je omogućeno utvrđivanje određenih pravilnosti.

Jedan od problema koji prati eksploataciju od formiranja izvorista "Vić bare", predstavlja ubrzano opadanje izdašnosti bunara usled visokih koncentracija gvožđa koje uzrokuje intenzivan proces kolmatacije i propadanja bunarske konstrukcije. Poznavanje hidrauličkih karakteristika i interakcije sa površinskim vodama značajno je za režim eksploatacije i usporavanje ovog procesa starenja bunara, ali je važno i sa aspekta zaštite podzemnih voda, naročito za sprečavanje kontaminacije aluvijalne izdani u uslovima pojave zagađujućih materija u rečnoj vodi.

Hidrološke i hidrogeološke karakteristike na području izvorista "Vić bare"

Zahvatanje podzemnih voda na izvoristu usko je vezano za hidrološke uslove reke Save. Vodostaj Save kod Obrenovca tokom godine odlikuju dva maksimuma (mart-maj i novembar-decembar) i dva minimuma (jul-septembar i januar-februar). Za merenja vodostaja Save korišćeni su podaci očitavanja sa vodomernene letve kod termoelektrane "Nikola Tesla A". Srednje višegodišnje vrednosti kota nivoa u periodu 2001-2019. godine varirale su između 69.54 mnm i 76.29 mnm. Ekstremne vrednosti vodostaja dostignute su u maju 2015. godine, tokom poplava, sa proticajem od 6600 m³/s (merenja kod Sremske Mitrovice). Prema podacima merenja poticaja na profilu kod Sremske Mitrovice za period 1950-2017. godine, srednje mesečni proticaji variraju od 648 m³/s (avgust) do 2440 m³/s (april). Tokom istraživanja koja je Rudarsko-geološki fakultet vršio u periodu od 2007. do 2019. godine, vodostaj je meren i prikazan na svim uporednim dijagramima sa režimskim osmatranjima nivoa podzemnih voda na izvoristu.



Slika 1. Karta izvorista sa položajem bunara i istražnih bušotina. Legenda: 1. prašnasta glina i glinoviti pesak, 2. lesoidna glina i supesak, 3. bušeni bunar, 4. osmatračka bušotina, 5. Reni bunar i Projsag bunar, 6. nasip.

Figure 1. Map of the wellfield, showing locations of water wells and observation wells

Legend: 1. Silty clay and clayey sand, 2. Loessoid clay and sand, 3. Drilled water well, 4. Observation well, 5. Radial collector well, 6. Levee.

Hidrogeološke karakteristike izvorista dobro su poznate zahvaljujući brojnim namenskim istraživanjima koja su vršena. Izradom 30 cevastih i dva bunara sa horizontalnim drenovima dobro je poznata geološka građa ovog aluvijalnog područja, a hidrogeološke karakteristike na osnovu osmatranja režima podzemnih voda, rezultata crpenja prilikom izrade bunara, granulometrijskih analiza i kontinuiranog praćenja kvaliteta sirove podzemne vode sa izvorista.

Naslage kvartarne starosti, idući od površine terena izgrađuju slabovodopropusne naslage debljine 2-7 m, lokalno i 12 m. Izgrađen je od prašinstih peskova, suglina i glina. Koeficijent filtracije na osnovu granulometrijskih analiza je u granicama od 1.0×10^{-8} m/s do 7.0×10^{-7} m/s.

Debljina vodonosnih naslaga na području izvorišta je promenjiva i kreće se od 5-15m. Najmanja je u južnom delu, u centralnom delu iznosi od 10-12 m, a u zoni severno prema Savi gde se nalazi najveći broj bunara debljina peskovito-šljunkovitih naslaga mestimično prelazi i 15 m. Viši nivo ovih naslaga izgrađuju sitnozrni i srednjozrni peskovi, sa koeficijentom filtracije reda veličine 10^{-5} m/s. Dublji deo naslaga, debljine 4-6 m, čine peskoviti šljunkovi i šljunkovi dobrih filtracionih karakteristika u rasponu 10^{-4} - 10^{-2} m/s.

Podinu vodonosnim naslagama izgrađuju vodonepropuni glinoviti i glinovito-laporoviti sedimenti pliocenske starosti. Vrednosti koeficijenta filtracije su manji od 10^{-8} m/s i u hidrogeološkom smislu oni se kategoriju kao uslovno "bezvodni" delovi terena.

Dominantan vid prihranjivanja izdani koja se formira predstavlja infiltracija rečnih voda. Modelskim ispitivanjima utvrđeno je da učešće rečnih voda u formiranju rezervi podzemnih voda na izvorištu iznosi 98.8 % (Stevanović & Hajdin, 2008; Bajić, 2019) dok je vrlo malo učešće padavina posledica slabih filtracionih svojstava povlatnih naslaga.

Eksploatacija na izvorištu vrši se zahvatanjem podzemnih voda, prosečno oko 270 l/s, maksimalno do 309 l/s. Položaj izvorišta u meandru reke, pruža povoljan raspored 30 bunara po obodu i dva bunara sa horizontalnim drenovima u čelu meandra. Stari Reni bunar izrađen 1988. godine, saniran je 2017. godine (Obradović, 2017), utiskivanjem novih drenova Felman metodom i danas predstavlja važan vodozahvat koji racionalnim korišćenjem danas obezbeđuje oko 60 l/s. Drugi bunar sa horizontalnim drenovima tipa „Preussag“, izrađen 1993. godine, čija saniranje je završeno 2021. godine i trenutno se koristi za zahvatanje oko 100 l/s vode.

Problemi u vodosnabdevanju na izvorištu vezani su za intenzivne procese kolmatacije kao posledice visokih koncentracija gvožđa i mangana, zbog čega se redovno vrši njihova fizičko-hemijska regeneracija. U sistemu vodosnabdevanja najznačajniji problemi vezani su za gubitke u mreži koji su iznosili i preko 50%. Poslednjih godina, naročito posle poplave, 2014. godine, obnovom oštećenog cevovoda gubici u mreži značajno su smanjeni i procenjuje se da iznose oko 30%, što su još uvek velike vrednosti zbog čega je potrošnja vode i dalje neracionalna.

Metodologija istraživanja hidrauličke veze površinskih i podzemnih voda

Za proučavanje hidrauličke veze voda reke Save i podzemnih voda na izvorištu korišćeni su podaci režimskih osmatranja koji su prikupljeni tokom detaljnih istraživanja koja je Rudarsko-geološki fakultet, od kojih 2007. i 2018. godine za ocenu rezervi podzemnih voda i 2010. godine za potrebe izrade elaborata za izdvajanje zona sanitrane zaštite na izvorištu "Vić bare". Pored ovoga detaljnija izučavanja odnosa površinskih i podzemnih voda vršena su u okviru istraživanja perspektivnih rešenja vodosnabdevanja Obrenovca (Polomčić et al, 2013). U skladu sa zakonom, istraživanja za potrebe izrade elaborata o rezervama kao i izdvajanja zona zaštite obuhvatala su jednogodišnja osmatranja nivoa podzemnih voda u istražnim bušotinama na izvorištu, osmatranja vodostaja Save zatim količinu zahvaćenih voda na izvorištu, kao i praćenje kvaliteta podzemnih i površinskih voda kroz izradu tzv. kompletnih hemijskih analiza. Prikupljeni podaci poslužili su za izradu hidrodinamičkog modela izvorišta.

Za analizu hidrauličke veze između površinskih i podzemnih voda korišćeni su podaci o kotama nivoa reke i kotama nivoa podzemnih voda koji su osmatrani tokom svih ovih istraživanja u ukupno 10 istražnih bušotina raspoređenih u zapadnom, centralnom i istočnom delu izvorišta "Vić bare". Za potrebe kvantificiranja čvrstina veza između slučajno promenljivih, što u konkretnom slučaju su kote nivoa podzemnih voda zabeleženih u istražnim bušotinama – KNPV (zavisno slučajno promenljive veličine) i kote nivoa vodnog ogledala reke Save – KNVO (nezavisna slučajna promenljiva veličina), najbolje koristiti Pirsonov koeficijent korelacije, koji obično nazivamo samo koeficijentom korelacije (obeležavamo ga sa r). Ovaj koeficijent korelacije koristimo za slučaj kada između slučajno promenljivih veličina postoji linearna povezanost i neprekidna normalna distribucija. Vrednost Pirsonovog koeficijenta korelacije se kreće od +1 (savršena pozitivna korelacija) pa do -1 (savršena negativna korelacija). Vrednost koeficijenta korelacije nas, dakle, upućuje na jačinu korelacione veze dok znak koeficijenta korelacije na smer korelacione veze. Za slučaj linearnog modela sa jednom nezavisnom promenljivom (što je konkretan slučaj u ovom radu) često se koristi i koeficijent determinacije (R^2) koji predstavlja kvadrat koeficijenta korelacije.

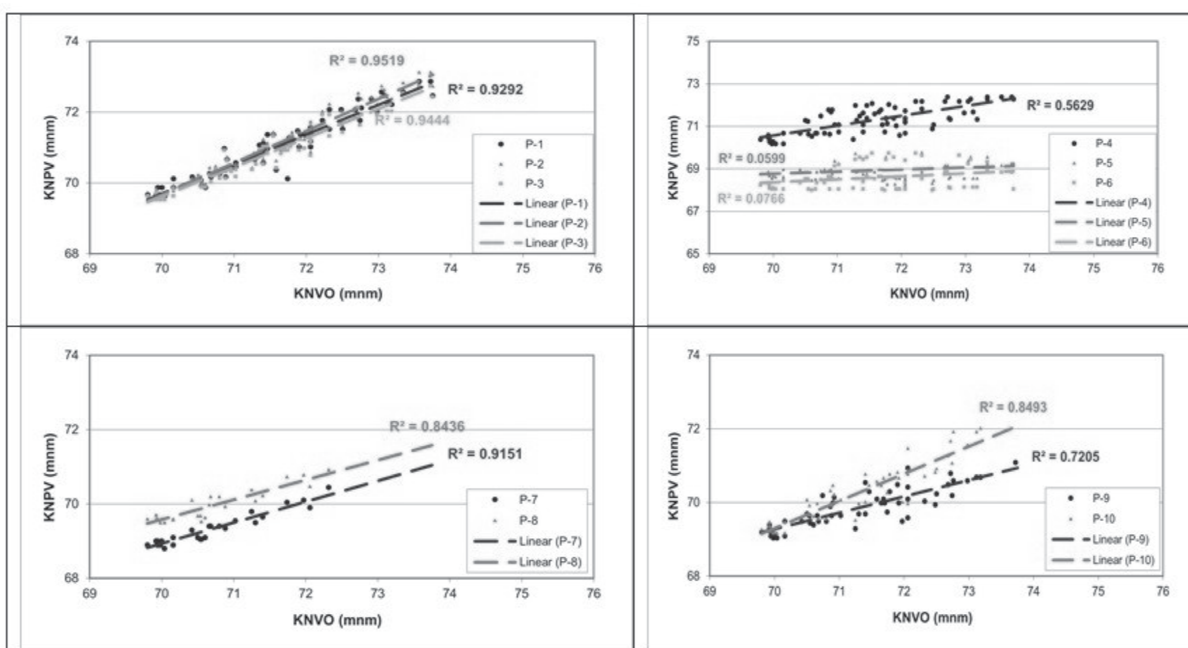
Diskusija

Rezultati sprovedenih analiza osmatranja kota nivoa vodnog ogledala reke Save i kota nivoa podzemnih voda deset istražnih bušotina, dati su u vidu grafičkih priloga, i to na slici 2 (za osmatrački period jul 2007. – jul 2008.), na slici 3 (za osmatrački period novembar 2010. – jun 2011.) i na slici 4 (za osmatrački period jun 2017. – jun 2019.), dok su u tabeli 1 date numeričke vrednosti dobijenih koeficijenata determinacije.

Posmatrajući prostorno a shodno prikazanim rezultatima, odnosno na osnovu dobijenih vrednosti koeficijenata determinacije, u istražnim bušotinama P-1, P-2, P-3, P-7, P-8, P-9 i P10 nivoi podzemnih voda imaju dobru korelaciju sa nivoima reke Save u ovom delu meandra/izvorišta. Razlog je svakako njihov prostorni položaj (slika 1), nalaze se na udaljenijima od reke Save manjim od 300 m i u dobroj su hidrauličkoj vezi sa površinskim vodama. Istražne bušotine P-4, P-5 i P-6, koje se nalaze u centralnim delovima meandra, imaju znatno slabije veze sa površinskom vodom reke Save, što je posledica činjenice da su okruženi eksploatacionim bunarima koji, tokom svog rada obaraju nivo podzemnih voda, čime umanjuju prirodni dotok voda reke Save u centralni deo izvorišta. Ovo je najizraženije kod istražnih bušotina P-5 i P-6 koje se nalaze u centralnom delu izvorišta, dok su

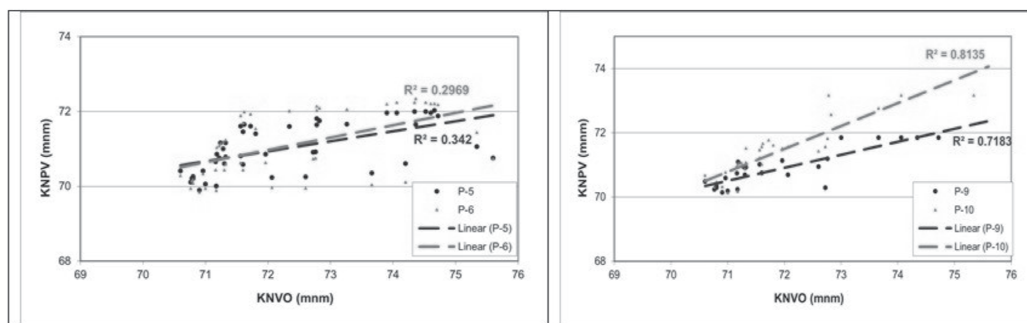
koeficijenti determinacije dobijeni analizom P-4 nešto veći iz razloga što se nalazi u zoni u kojoj nema eksploatacionih bunara (slika 1).

Posmatrajući koeficijente determinacije kroz razmatrane vremenske preseke, rezultati dobijeni za istražne bušotine P-1, P-2, P-3, P-7, P-8 i P-10 ukazuju na činjenicu da tokom sva tri perioda ne dolazi do značajnih promena ovih vrednosti, koji, kod pomenutih bušotina, imaju visoke vrednosti: $0.95 > R^2 > 0.75$ (tabela 1). Razlog je dobra hidraulička povezanost površinskih i podzemnih voda u ovom delu izvorišta, i može se konstatovati da u razmatranim periodima nije došlo do njenog pogoršavanja. Za istražnu bušotinu P-9, u periodu od 2011. do 2017. došlo je do slabljenja hidrauličke veze, na šta ukazuje znatno manja vrednost koeficijenta determinacije. Razlog ovome može biti višestruk, a najverovatnije je da došlo do kolmatacije pijezometra ili do njegovog zapunjavanje, što bi trebalo proveriti. Kod istražnih bušotina P-4, P-5 i P-6 rezultati ukazuju da su znatno slabije veze između površinskih i podzemnih voda u ovom delu izvorišta dobijene za period 2007. – 2008. u odnosu na kasnije analizirane vremenske preseke. Ovde treba imati u vidu činjenicu da je u ovom periodu vršena neracionalna eksploatacija podzemnih voda sa izvorišta što je prouzrokovalo znatno veća sniženja i nemogućnost prihranjivanja izdani centralnog dela meandra.



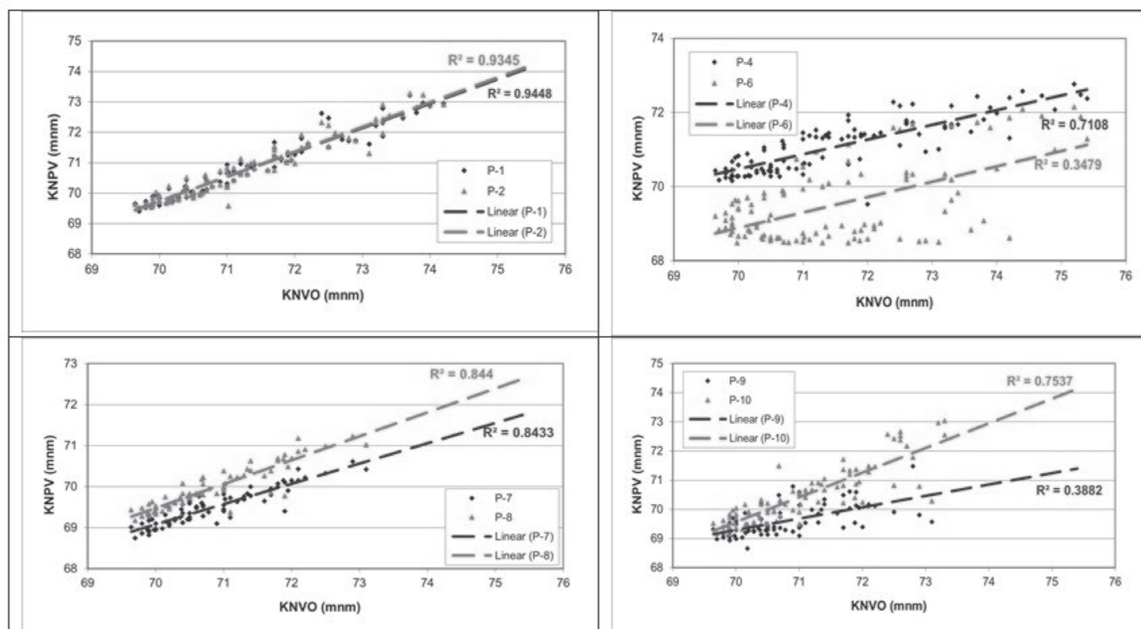
Slika 2. Zavisnost kote nivoa podzemnih voda u funkciji kota nivoa vodnog ogledala za period režimskog osmatranja jul 2007. - jul 2008. god.

Figure 2. Dependence of the groundwater level elevation as a function of the water level elevation for the period of regime monitoring July 2007 - July 2008



Slika 3. Zavisnost kote nivoa podzemnih voda u funkciji kota nivoa vodnog ogledala za period režimskog osmatranja novembar 2010. - jun 2011. god.

Figure 3. Dependence of the groundwater level elevation as a function of the water level elevation for the period of regime monitoring November 2010 - Jun 2011



Slika 4. Zavisnost kote nivoa podzemnih voda u funkciji kota nivoa vodnog ogledala za period režimskog osmatranja jun 2017. - jul 2019. god.

Figure 4. Dependence of the groundwater level elevation as a function of the water level elevation for the period of regime monitoring Jun 2017 - July 2019

Tabela 1. Koeficijenti determinacije dobijeni analizom kota nivoa podzemnih voda izvorišta "Vić bare" i kota vodnog ogledala reke Save za analizirane vremenske preseke

Table 1. Determination coefficients obtained by analyzing the groundwater level of the source "Vić bare" and the water level elevation the Sava River for the analyzed time sections

Period	R ²		
	2017-2019	2010-2011	2007-2008
Q _{min-max} (l/s)	103-309	184-275	238-340
P-1	0,9345		0,9292
P-2	0,9448		0,9519
P-3			0,9444
P-4	0,7108		0,5629
P-5		0,3420	0,0599
P-6	0,3479	0,2969	0,0766
P-7	0,8433		0,9151
P-8	0,8440		0,8436
P-9	0,3882	0,7183	0,7205
P-10	0,7537	0,8135	0,8405

Zaključak

Posmatrajući prostorno, najbolje korelacione veze između nivoa podzemnih voda registrovanih u bušotinama izvorišta „Vić bare“ i nivoa reke Save imaju oni koji su pozicionirani na manjim udaljenostima od reke (manje od 300 m) i ovi rezultati ukazuju na dobru hidroauličku vezu podzemnih i površinskih voda. Za razliku od njih, istražne bušotine koje se nalaze u centralnim delovima meandra imaju znatno slabije veze sa površinskom vodom. Razlog je što su ovi hidrogeološki objekti okruženi eksploatacionim bunarima koji svojim radom narušavaju prirodan režim podzemnih voda čime sprečavaju njihovu vezu sa površinskim vodama.

Posmatrajući dobijene rezultate vezane za različite vremenske vreseke, može se konstatovati da kod većine istražnih bušotina su dobijeni slični rezultati za sva tri razmatrana perioda. Izuzetci su istražna bušotina P-9 kod koje je došlo do slabljenja hidrauličke veze i smatra se da je ovo najverovatnije posledica kolmatacije pijezometra ili njegovo zapunjavanje. Takođe, kod istražnih bušotina P-4, P-5 i P-6 rezultati ukazuju da su znatno slabije veze između površinskih i podzemnih voda u ovom delu izvorišta dobijene za period 2007. – 2008. u odnosu na kasnije analizirane vremenske preseke. Ovde napominjemo da je u ovom periodu vršena neracionalna

eksploatacija podzemnih voda što je za posledicu imalo znatno veća sniženja podzemnih voda u ovom delu čime je sprečeno neometano prihranjivanje izdani centralnog dela meandra.

Literatura

- BAJIĆ D. (2019): *Drugi elaborat o rezervama podzemnih voda izvorista „Vić bare“ u Zabrežju za vodosnabdevanje Obrenovca*. Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.
- FILIPOVIĆ B., DIMITRIJEVIĆ N., STEVANOVIĆ Z. (1984): *Hidrogeološka studija o mogućnosti maksimalnog iskorišćavanja podzemnih voda iz izvorista Vić bare kod Obrenovca*. Rudarsko-geološki fakultet, Departman za hidrogeologiju, Beograd.
- POLOMČIĆ D., HAJDIN B., STEVANOVIĆ Z., BAJIĆ D., HAJDIN K., (2013): *Groundwater management by riverbank filtration and an infiltration channel: the case of Obrenovac, Serbia*. Hydrogeology Journal, Vol. 21, pp. 1519-1530. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISSN: 1431-2174. IF=1.798. DOI: 10.1007/s10040-013-1025-9.
- SORO A. i dr. (1997): *Studija optimizacije rada i perspektive korišćenja podzemnih voda izvorista "Vić bare"*. Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Zavod za hidrogeologiju i izučavanje režima podzemnih voda, Beograd.
- STEVANOVIĆ Z., HAJDIN B. (2008): *Elaborat o rezervama podzemnih voda izvorista "Vić bare" u Zabrežju za vodosnabdevanje Obrenovca*. Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.
- STEVANOVIĆ Z., HAJDIN B. (2011): *Elaborat o zonama sanitarne zaštite izvorista "Vić bare" i FV "Zabrežje" (postrojenje za preradu vode)*. Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.
- OBRADOVIĆ I. (2017): *Izveštaj o izvedenom testiranju bunara RB-1 nakon sanacije utiskivanjem novih drenova na izvoristu „Vić bare“ u Obrenovcu*. "PST Bohr" d.o.o Voždovac, Beograd.