

## HIDRODINAMIČKA ANALIZA PROŠIRENJA IZVORIŠTA „PETROVARADINSKA ADA“ U NOVOM SADU

Dušan ĐURIĆ, Vladimir LUKIĆ, Anđelko SORO  
Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ Beograd

### REZIME

Izvorište „Petrovaradinska ada“, locirano na desnoj obali Dunava, predstavlja jedno od tri izvorišta koja se koriste za potrebe vodosnabdevanja grada Novog Sada. Zahvatanje podzemnih voda na ovom izvorištu vrši se iz izdani formirane u okviru mlađe kvartarnih aluvijalnih peskovito – šljunkovitih sedimenata. Povećanje potreba za vodom grada i opadanje kapaciteta vodozahvatnih objekata tokom više od dve decenije eksploatacije, uslovalo je potrebu da se izvrši analiza mogućnosti proširenja ovog izvorišta. Prema rezultatima sprovedenih hidrogeoloških istraživanja i hidrodinamičkih proračuna na matematičkom modelu, dobijeno je da se kapacitet izvorišta može povećati za dodatnih 100 l/s. Kao najoptimalnije tehničko rešenje odabrana je varijanta proširenja pomoću vertikalnih cevastih bunara. Za datu varijantu izvršeni su hidraulički proračuni kapaciteta bunara sa aspekta filtracione stabilnosti prifilterske zone i sa aspekta održanja laminarnog režima strujanja. Na osnovu izvršenih proračuna dobijeno je da kapaciteti pojedinačnih vodozahvatnih objekata treba da budu  $Q=10$  l/s. Hidrodinamičkim proračunima na matematičkom modelu izvršena je analiza efekata rada niza projektovanih bunara na rad postojećih vodozahvatnih objekata. Dobijeni rezultati su pokazali da je uticaj proširenja izvorišta na postojeće objekte zanemarljiv.

**Ključne reči:** izvorište, matematički model, Petrovaradinska ada, proširenje

### 1. UVOD

Zahvatanje podzemnih voda, za potrebe vodosnabdevanja Novog Sada, na izvorištu „Petrovaradinska ada“ vrši se od 1984. godine, kada su izgrađeni prvi vodozahvatni objekti. U sadašnjim

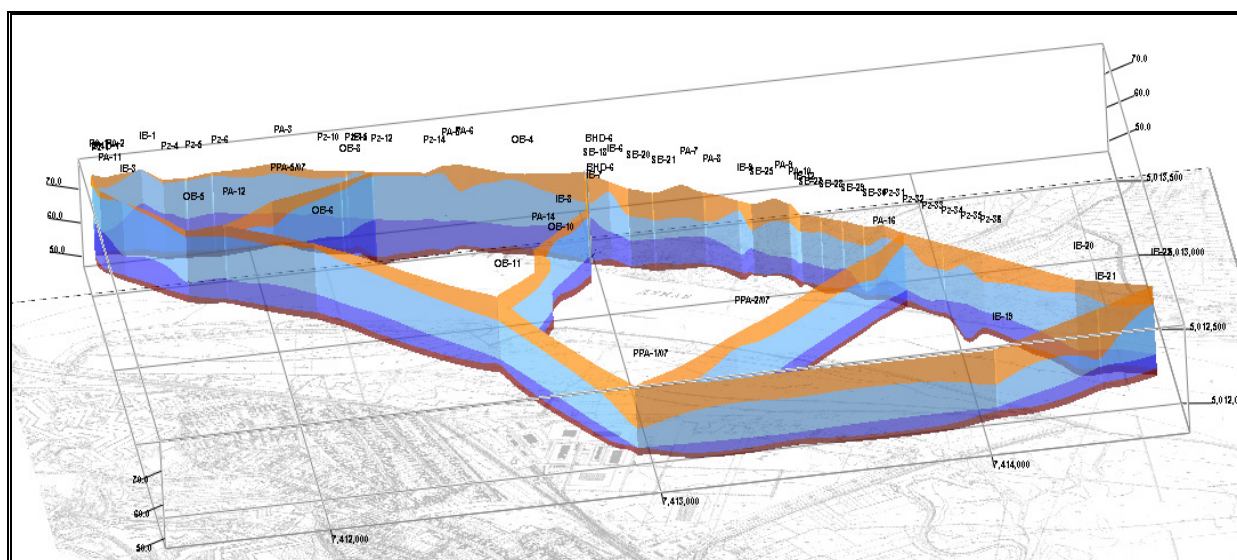
uslovima na izvorištu ukupno egzistira 6 bunara sa horizontalnim drenovima i 8 vertikalnih, cevastih, bunara. Prosečna godišnja eksploatacija na izvorištu je u rasponu od 300 – 400 l/s, u zavisnosti od potreba za vodom. Povećanje potreba konzumnog područja, kao i opadanje izdašnosti na bunarima nametnulo je potrebu proširenja postojećih izvorišnih kapaciteta. Jedna od razmatranih varijanti je bila i proširenje izvorišta „Petrovaradinska ada“ izgradnjom linijskog niza vodozahvata pored reke, nizvodno od postojećeg bunara BHD-8.

### 2. GEOLOŠKA GRAĐA I HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE IZVORIŠTA „PETROVARADINSKA ADA“

Na širem području izvorišta „Petrovaradinska ada“ u geološkoj građi do razmatrane dubine dominantno učestvuju naslage neogene i kvartarne starosti. Podinu kvartarnim naslagama čine pliocenski (gornje paludinski sedimenti) koji su u litoškom pogledu predstavljeni glinama, laporovitim glinama, laporima i podređeno sitnozrnim do srednjezrnim peskovima. Kote podine se kreću u rasponu od 60 mnm, u južnom delu, do 48.6 mnm u priobalju. Na delu predviđenom za proširenje izvorišta kote podine se kreću u rasponu od 56.7 do 48.6 mnm. Preko pliocenskih naslaga istaloženi su mlađe kvartarni peskovito - šljunkoviti sedimenti vodonosne sredine. Početni član mlađe kvartarne sedimentacije je predstavljen srednjezrnim do krupnozrnim peskovitim šljunkovima. Debljina ovih naslaga je promenljiva i u priobalnom delu se kreće u rasponu od 5 do 12 m. Preko peskovitih šljunkova, istaložena je serija srednjezrnih do krupnozrnih peskova. Debljina ove serije u priobalnom pojasu se kreće od 3 do 12 metara, i generalno se smanjuje od severozapada ka jugoistoku. U zoni predviđenoj za proširenje izvorišta (lokacije pijezometara Pz-28 do Pz-37) moćnost šljunkova je značajno redukovana, tako da

u zoni pijezometra Pz-31 šljunkovi se javljaju u dva sloja debljine 0.6 i 1.8 m, raslojeni slojem sitnozrnog do srednjezrnog peska debljine 1.1 m. Posmatrajući nizvodno od pijezometra Pz-31 učešće šljunkovite komponente se značajno smanjuje, tako da je vodonosna sredina uglavnom izgrađena od sitnozrnih

do srednjezrnih (povremeno krupnozrnih) peskova, sa lokalnim učešćem sitnozrnog šljunka. Prikaz geometrije vodonosne sredine i povlatnog polupropusnog sloja je dat na *Slici 1*. Povlatni sloj predstavljen je glinovitim, alevritskim i alevritsko - peskovitim naslagama facije povodnja, mrtvaja i starača.



Slika 1. Sačasti blok dijagram šire zone izvorišta „Petrovaradinska ada“

Filtracione karakteristike povlatnih polupropusnih sedimenata su određene na osnovu podataka o granulometrijskom sastavu. Na osnovu datih podataka koeficijent filtracije ovih naslaga se kreće u rasponu od  $8 \cdot 10^{-8}$  do  $9 \cdot 10^{-6}$  m/s. Filtracione karakteristike vodonosne sredine su određene na osnovu podataka o granulometrijskom sastavu i na osnovu obrade podataka opita crpenja. Vrednosti koeficijenta filtracije dobijene na navedeni način se kreću u rasponu od  $1 \cdot 10^{-4}$  do  $1 \cdot 10^{-3}$  m/s. Širok opseg vrednosti koeficijenta filtracije je posledica različitog procentualnog učešća u odnosu peskovitih i šljunkovitih frakcija u okviru sedimenta. Vrednost koeficijenta filtracije peskovitih sedimenata je u granicama od  $1 \cdot 10^{-4}$  do  $4 \cdot 10^{-4}$  m/s, dok za peskovito – šljunkovite frakcije vrednost koeficijenta filtracije iznosi od  $5 \cdot 10^{-4}$  do  $1 \cdot 10^{-3}$  m/s.

### 3. ANALIZA MOGUĆNOSTI PROŠIRENJA IZVORIŠTA

Prvi korak u procesu analize mogućnosti proširenja izvorišta „Petrovaradinska ada“ je bila analiza izbora

tipa vodozahvatnih objekata (bunari sa horizontalnim drenovima ili vertikalni cevasti bunari). Prilikom izbora tipa vodozahvatnih objekata kojim će se vršiti eksploatacija podzemnih voda na određenom terenu, odnosno u datim hidrogeološkim uslovima, neophodno je u razmatranje uzeti sledeće činioce, odnosno na osnovu njih izvršiti izbor: karakteristike vodonosne sredine, cenu izrade vodozahvatnih objekata i troškove eksploatacije i održavanja sistema. Uzevši u obzir sve pomenute faktore kao najoptimalnije rešenje su odabrani vertikalni cevasti bunari, paralelni sa Dunavom, nizvodno od postojećeg bunara BHD-8. Za odabrano tehničko rešenje, elemente bunarske konstrukcije i srednju vrednost koeficijenta filtracije vodonosne sredine od  $k=1.4 \cdot 10^{-4}$  m/s, izvršeni su proračuni dozvoljenih ulaznih brzina po konturi bušenja, ulaznih brzina po konturi bušenja za kapacitet bunara od  $Q=10$  l/s kao i proračuni dozvoljenih ulaznih brzina sa aspekta obezbeđenja laminarnog režima strujanja podzemnih voda. Rezultati proračuna su dati u Tabelama 1, 2 i 3.

Tabela 1. Rezultati proračuna dozvoljenih ulaznih brzina po konturi bušenja na osnovu empirijskih formula različitih autora

Zihart	Modifikovani Zihart	Abramov	Kovač
$V_d = \frac{\sqrt{k}}{15}$	$V_d^m = \frac{\sqrt{k}}{30}$	$V_d = \frac{\sqrt[3]{k}}{30}$	$V_d = \frac{\sqrt[3]{k}}{110}$
$7.89 \cdot 10^{-4}$	$3.94 \cdot 10^{-4}$	$1.73 \cdot 10^{-3}$	$4.72 \cdot 10^{-4}$
V <sub>d</sub> -dozvoljena brzina (m/s), k-koeficijent filtracije (m/s)			

Tabela 2. Rezultati proračuna ulaznih brzina po konturi bušenja za projektovani kapacitet od 10 l/s.

Q – kapacitet bunara	10 l/s
D <sub>b</sub> – prečnik bušenja	1200 mm
H – dužina filtra bunara	8 m
ω – površina proticajnog profila po konturi bunara	30.14 m <sup>2</sup>
V – ulazna brzina	3.32·10 <sup>-4</sup> m/s

Tabela 3. Rezultati proračuna dozvoljenih ulaznih brzina sa aspekta obezbeđenja laminarnog režima strujanja za kapacitet bunara od 10 l/s

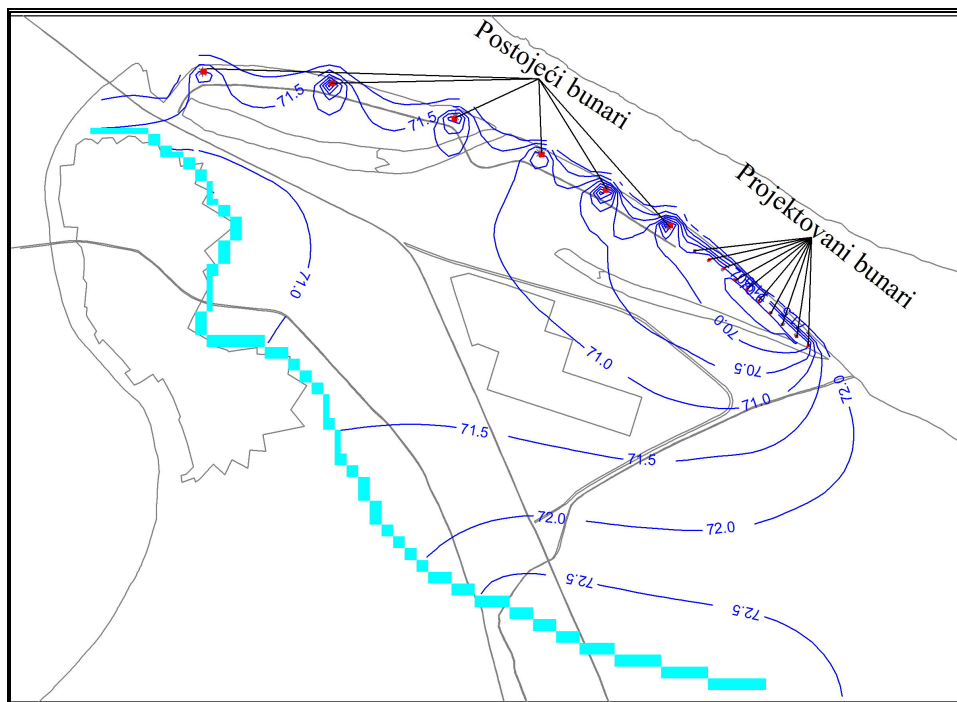
Q–kapacitet bunara	10 l/s
D <sub>10</sub> –efektivni prečnik zrna filterskog zasipa	1.2 mm
v–kinematski koeficijent viskoziteta (za t=15°C)	1.12·10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s
M – dužina filterske konstrukcije	8 m
D <sub>f</sub> – prečnik filterske konstrukcije	0.6 m
R <sub>e</sub> – Rejnoldsov broj	0.71
V <sub>d</sub> – filtraciona (Darsijeva) brzina na konturi filterske konstrukcije	6.63·10 <sup>-4</sup> m/s

Za definisan broj i kapacitet planiranih vodozahvatnih objekata (10 bunara po 10 l/s) izvršeni su hidrodinamički proračuni strujanja podzemnih voda na izvorištu na matematičkom modelu. Proračun je izvršen korišćenjem programskog paketa MODFLOW. Navedeni program koristi metodu konačnih razlika za aproksimaciju rešenja jednačine trodimenzionalnog strujanja podzemnih voda u okviru heterogene i anizotropne sredine tokom vremena.

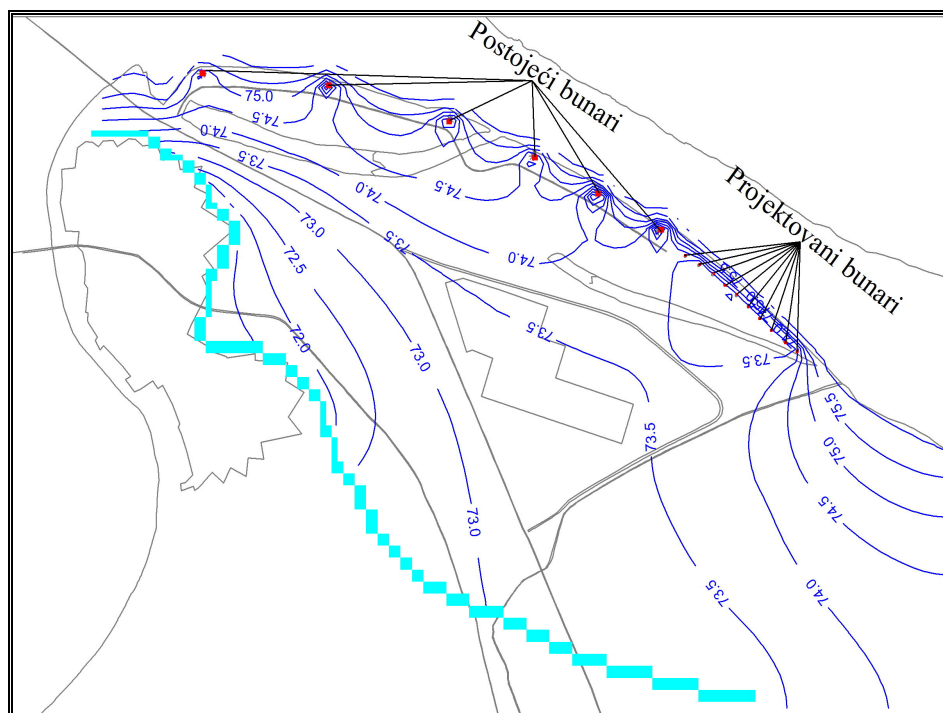
Hidrogeološki sistem u okviru matematičkog modela je šematizovan kao troslojevit (I-povlatni polupropusni sloj, II-peskoviti vodonosni sloj i III-peskovito – šljunkoviti vodonosni sloj). Proces etaloniranja matematičkog modela je izvršen u nestacionarnim uslovima strujanja za vremenski presek 01.01.2007. – 31.05.2008. godine. Ulazni podaci korišćeni za potrebe izrade modela, pored geometrijskih i filtracionih karakteristika porozne sredine, bili su merenja

kapaciteta na vodozahvatnim objektima, osmatranja vodostaja Dunava na vodomernoj stanici Novi Sad i elementi vertikalnog bilansa, za navedeni vremenski presek. Kao rezultat procesa etaloniranja modela dobijen je reprezentativni raspored koeficijenata filtracije povlatnog i vodonosnog sloja.

Na etaloniranom matematičkom modelu izvršena je simulacija efekata proširenja izvorišta sa 10 dodatnih vertikalnih cevastih bunara pojedinačnog kapaciteta 10 l/s, za zadati kriterijum da razlika nivoa u projektovanom bunarskom nizu i nivoa Dunava ne bi trebalo da bude veća od 5 m. Simulacija efekata proširenja izvorišta je izvršena pri različitim hidrološkim uslovima, odnosno pri različitim vodostajima Dunava. Prognozni proračuni su rađeni za 95% vodostaj (Z<sub>95%</sub>=72.35 mm) Slika 2, 50% (Z<sub>50%</sub>=74.20 mm) i 10% (Z<sub>10%</sub>=76.20 mm) Slika 3.



Slika 2. Rezultati hidrodinamičkih proračuna efekata proširenja izvorišta „Petrovaradinska ada“ za projektovani kapacitet od  $\Sigma Q=100$  l/s za  $Z_{95\%}$  Dunava



Slika 3. Rezultati hidrodinamičkih proračuna efekata proširenja izvorišta „Petrovaradinska ada“ za projektovani kapacitet od  $\Sigma Q=100$  l/s za  $Z_{95\%}$  Dunava

Pored sprovedenih hidrodinamičkih proračuna na matematičkom modelu izvršen je i proračun dodatnih gubitaka pijezometarskog nivoa  $\Delta S$  usled prelaska sa „fiktivnog“ bunara (diskretizovano polje modela) na realni bunar, prema sledećoj formuli:

$$\Delta S = \frac{Q}{2\pi T} * \ln \frac{0.2\Delta x}{r_e} \quad (1)$$

gde je:

$\Delta S$  – dopunski gubitak nivoa usled prelaska sa „fiktivnog“ na realni bunar (m),

$Q$  – proticaj u polju ( $m^3/s$ ),

$T$  – koeficijent transmisivnosti ( $m^2/s$ ),

$\Delta x$  – veličina diskretizovanog polja (m) i

$r_e$  – poluprečnik bunara (m)

Sprovedenim hidrodinamičkim proračunima, za date vrednosti filtracionih karakteristika porozne sredine, kapaciteta i elemenata konstrukcije bunara, pri različitim vodostajima Dunava, dobijene su vrednosti pijezometarskih nivoa u novoprojektovanim bunarima, Tabele 4, 5 i 6.

Tabela 4. Vrednosti pijezometarskih nivoa u bunarima za projektovani kapacitet  $\Sigma Q=100$  l/s i vodostaj Dunava sa 95%-nom verovatnoćom pojavljivanja na koti 72.35 mmm

Bunar	Q (m3/s)	Kota nivoa na modelu za $\Delta x=12.5$ m (mmm)	Kota računskog nivoa na modelu (mmm)	Pretpostavljeni gubici u prifilterskoj zoni bunara $\Delta\Delta S$ (m)	Kota nivoa vode u bunaru (mmm)	Razlika nivoa vode u Dunavu i nivoa u bunaru (m)
1	0.01	68.75	67.90	1.50	66.40	4.45
2	0.01	68.54	67.66	1.50	66.16	4.69
3	0.01	68.56	67.57	1.50	66.07	4.78
4	0.01	68.18	67.19	1.50	65.69	5.16
5	0.01	68.09	66.93	1.50	65.43	5.42
6	0.01	68.08	66.97	1.50	65.47	5.38
7	0.01	68.12	67.05	1.50	65.55	5.30
8	0.01	68.03	66.92	1.50	65.42	5.43
9	0.01	68.19	67.03	1.50	65.53	5.32
10	0.01	68.48	67.32	1.50	65.82	5.03

Tabela 5. Vrednosti pijezometarskih nivoa u bunarima za projektovani kapacitet  $\Sigma Q=100$  l/s i vodostaj Dunava sa 50%-nom verovatnoćom pojavljivanja na koti 74.20 mmm

Bunar	Q (m3/s)	Kota nivoa na modelu za $\Delta x=12.5$ m (mmm)	Kota računskog nivoa na modelu (mmm)	Pretpostavljeni gubici u prifilterskoj zoni bunara $\Delta\Delta S$ (m)	Kota nivoa vode u bunaru (mmm)	Razlika nivoa vode u Dunavu i nivoa u bunaru (m)
1	0.01	70.33	69.48	1.50	67.98	4.72
2	0.01	70.05	69.17	1.50	67.67	5.03
3	0.01	70.02	69.03	1.50	67.53	5.17
4	0.01	69.64	68.65	1.50	67.15	5.55
5	0.01	69.58	68.42	1.50	66.92	5.78
6	0.01	69.52	68.41	1.50	66.91	5.79
7	0.01	69.54	68.47	1.50	66.97	5.73
8	0.01	69.45	68.34	1.50	66.84	5.86
9	0.01	69.53	68.37	1.50	66.87	5.83
10	0.01	69.40	68.23	1.50	66.73	5.97

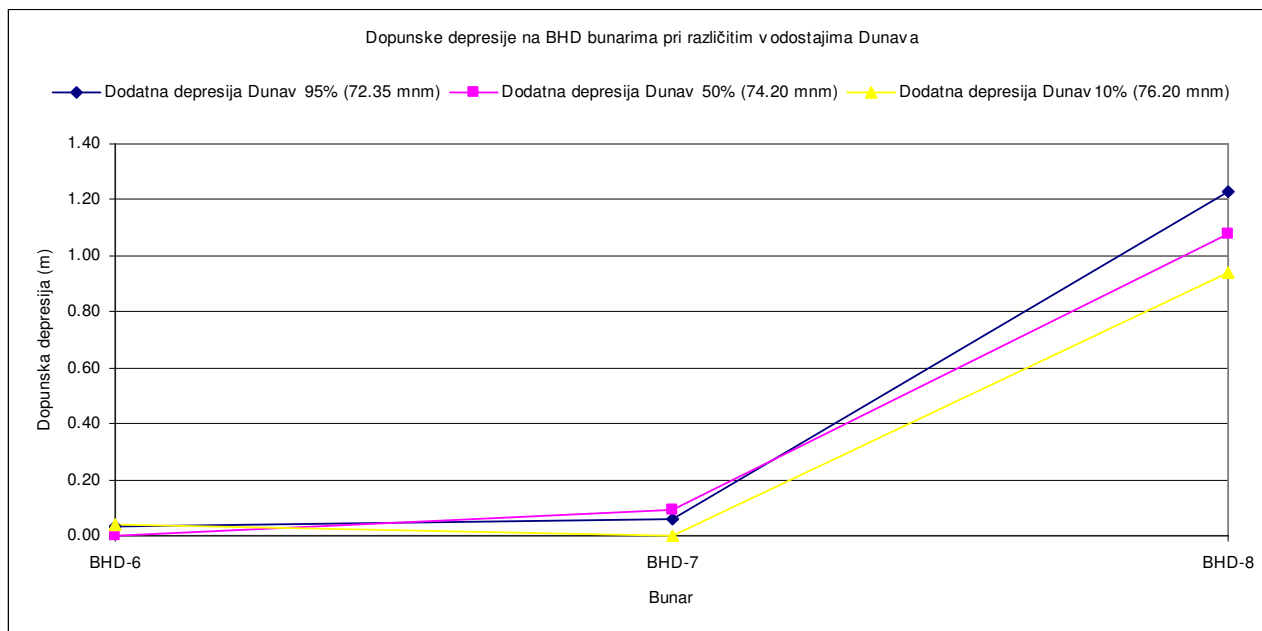
Tabela 6. Vrednosti pijezometričkih nivoa u bunarima za projektovani kapacitet  $\Sigma Q=100$  l/s i vodostaj Dunava sa 10%-nom verovatnoćom pojavljivanja na koti 76.20 mmm

Bunar	Q (m <sup>3</sup> /s)	Kota nivoa na modelu za $\Delta x=12.5$ m (mmm)	Kota računskog nivoa na modelu (mmm)	Pretpostavljeni gubici u prifilterskoj zoni bunara $\Delta \Delta S$ (m)	Kota nivoa vode u bunaru (mmm)	Razlika nivoa vode u Dunavu i nivoa u bunaru (m)
1	0.01	72.24	71.39	1.50	69.89	4.81
2	0.01	71.99	71.11	1.50	69.61	5.09
3	0.01	72.00	71.01	1.50	69.51	5.19
4	0.01	71.59	70.60	1.50	69.10	5.60
5	0.01	71.54	70.38	1.50	68.88	5.82
6	0.01	71.47	70.36	1.50	68.86	5.84
7	0.01	71.49	70.42	1.50	68.92	5.78
8	0.01	71.37	70.26	1.50	68.76	5.94
9	0.01	71.48	70.32	1.50	68.82	5.88
10	0.01	71.92	70.76	1.50	69.26	5.44

Za različite hidrološke uslove analiziran je uticaj eksploatacije produženjem bunarskog niza na pijezometričke nivoe u postojećim vodozahvatnim objektima.

Hidrodinamički proračuni su sprovedeni za slučaj rada izvorišta bez proširenja i sa proširenjem (izgradnjom 10 cevastih bunara na nizvodnom sektoru). Na osnovu efekata proširenja izvorišta na postojeće vodozahvatne

objekte, konstruisan je dijagram dodatnih depresija u njima, Slika 4. Na osnovu izvršenih proračuna može se zaključiti da proširenje izvorišta izgradnjom dodatnih cevastih bunara ima značajnijeg uticaja jedino na na krajnji bunar BHD-8 u kome se depresija, pri postojećem kapacitetu, povećava u rasponu od 0.95 do 1.20 m u zavisnosti od vodostaja Dunava. Već na sledećem uzvodnom bunaru BHD – 7 uticaj proširenja izvorišta praktično se ne može registrovati.

Slika 4. Dijagram dodatnih depresija na obodnim bunarima sa horizontalnim drenovima za uslove proširenja izvorišta sa 10 cevastih bunara  $\Sigma Q=100$  l/s, pri različitim vodostajima Dunava

#### 4. ZAKLJUČAK

U cilju rešavanja problema nedostajućih količina vode za piće, pristupilo se razmatranju mogućnosti proširenja kapaciteta izvorišta „Petrovaradinska ada“ izgradnjom vodozahvata pored reke. Za potrebe analize mogućnosti proširenja izvorišta korišćen je matematički model strujanja podzemnih voda.

Sprovedenim hidrodinamičkim proračunima dobijeno je da se proširenjem izvorišta može dobiti dodatna količina vode u iznosu od 100 l/s. Za izabrano tehničko rešenje (10 cevastih bunara pojedinačnog kapaciteta 10 l/s) i definisane kriterijume denivelacije pijezometarskog nivoa u bunarima u odnosu na Dunav u iznosu od 5 m izvršeni su proračuni za potrebe utvrđivanja efekata proširenja izvorišta na rad postojećih vodozahvatnih objekata.

Prema rezultatima ovih proračuna eksploatacija dodatnih 100 l/s će izazvati povećanje depresije samo u krajnjem BHD bunaru (BHD-8) u iznosu od oko 1.2 m, dok je uticaj na sledeći uzvodni bunar (BHD-7) gotovo zanemarljiv, tako da se predloženo rešenje može usvojiti kao prihvatljivo.

#### LITERATURA

- [1] Građevinski fakultet Subotica, 1980: Hidrogeološka istraživanja izvorišta „Petrovaradinska ada“,
- [2] Hidrozavod DTD, Novi Sad, 1989: Tehnički izveštaj o izvedenim dopunskim geološkim istraživanjima na lokaciji bunara za II fazu izvorišta „Petrovaradinska ada“,
- [3] Hidrozavod DTD, Novi Sad 2009: Generalni projekat proširenja izvorišta „Petrovaradinska ada“ – Izveštaj o rezultatima izgradnje strukturno – pijezometarskih bušotina,
- [4] Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd, 1985: Tehnički izveštaj i hidrodinamička obrada opita crpenja na eksploatacionim bunarima na izvorištu „Petrovaradinska ada“ Novi Sad,
- [5] Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd, 1987: Elaborat sanitarne zaštite izvorišta „Petrovaradinska ada“ u Novom Sadu; Postojeće stanje, potencijalna opasnost i mere zaštite,
- [6] Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd, 1991: Studija mogućnosti povećanja kapaciteta izvorišta „Petrovaradinska ada“ veštačkom infiltracijom.

### HYDRODYNAMIC ANALYSES OF INCREASING „PETROVARADINSKA ADA“ GROUNDWATER SOURCE CAPACITY IN NOVI SAD

by

Dušan ĐURIĆ, Vladimir LUKIĆ, Anđelko SORO  
Institute for the development of water resources „Jaroslav Černi“ Belgrade

#### Summary

„Petrovaradinska ada“ groundwater source, located on the right river bank of Danube river, is one of three groundwater sources which provide water supply to the City of Novi Sad. Tapping of groundwater on “Petrovaradinska ada” source is from an aquifer formed within Upper Quaternary sandy-gravelly deposits.

Increasing water demand of the city and a declining capacity of the existing wells during more than two decades of groundwater extraction necessitated the need for exploring the possibility of expanding this groundwater source.

Results of the conducted hydrogeological investigations and hydrodynamic analyses using a mathematical model showed that the expanded groundwater source will be able to provide an additional 100 l/s of water. Tube wells were selected as the most optimal technical solution for increasing of capacity. Hydraulic calculations of well capacity were conducted for the selected technical solution involving tube wells, addressing the seepage stability in the immediate vicinity of the well screens and the maintenance of a

laminar flow regime. The calculations showed that the capacity of the individual wells should be  $Q=10$  l/s. Hydrodynamic calculations using a mathematical model were used for the assessment of the effect of the new wells on the existing wells. The results of assessment showed that the impact of additional abstraction would be negligible.

Key words: groundwater source, mathematical model, Petrovaradinska ada, expansion

Redigovano 18.09.2012.