

## HIDRODINAMIČKE KARAKTERISTIKE IZVORIŠTA „PEŠTAN” ZA VODOSNABDEVANJE LAZAREVCA

Dušan POLOMČIĆ<sup>1</sup>, Dragoljub BAJIĆ<sup>1\*</sup>, Vesna RISTIĆ VAKANJAC<sup>1</sup>, Marina ČOKORILO<sup>1</sup>,  
Dejan DRAŠKOVIĆ<sup>2</sup>, Slavko ŠPADIJER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-Geološki fakultet, Departman za Hidrogeologiju

<sup>2</sup> Beogeoqua d.o.o.

\*e-mail:osljane@orion.rs

### REZIME

Geološka i hidrogeološka istraživanja koja su u prethodnih nekoliko godina izvedena u zoni izvorišta opštine Lazarevac, imala su za cilj obezbeđivanje podataka za utvrđivanje rezervi podzemnih voda, njihov bilans i radijus uticaja bunara izvorišta. Istraživani teren pripada kolubarskom ugljonom basenu, koji je najveći basen uglja u Republici Srbiji. Gradsko izvorište za vodosnabdevanje grada Lazarevac nalazi se na ravničarskom terenu aluvijalne ravni reka Kolubare i Peštana. Sastoji se od 14 eksploatacionih bunara koji kaptiraju izdan pod pritiskom do oko 180 m dubine, formirane u okviru neogenih peskova. Ova izdan se naziva „međuslojna izdan“, jer se nalazi između dva sloja uglja koji se eksploatiše. Dosadašnjom eksploatacijom izvorišta došlo je do značajnih sniženja podzemnih voda u zoni izvorišta, reda veličine od 40 do 50 m. Ovo je posledica precrpljivanja izvorišta zbog razvoja kopova gde su presečeni kontakti sa rekama koje prihranjuju izdan.

U cilju sprovođenja simulacije režima eksploatacije podzemnih voda na izvorištu za vodosnabdevanje grada Lazarevac izrađen je hidrodinamički model režima podzemnih voda. Njegova izrada rađena je fazno: od osnovne interpretacije ulaznih podataka, šematizacije porozne sredine, strujnog polja i uslova strujanja do formiranja i etaloniranja modela. Izrađeni višeslojeviti model zasniva se na simulaciji trodimenzionalnog strujanja podzemnih voda. Za izbor koncepcije hidrodinamičkog modela od odlučujućeg značaja su bili prirodni činioci kao što su tip i karakteristike zastupljenih geoloških članova, izražena slojevitost, rasprostranjenje vodonosnog i izolatorskih slojeva, filtracione karakteristike porozne sredine, uslovi, mehanizam i režim strujanja podzemnih voda.

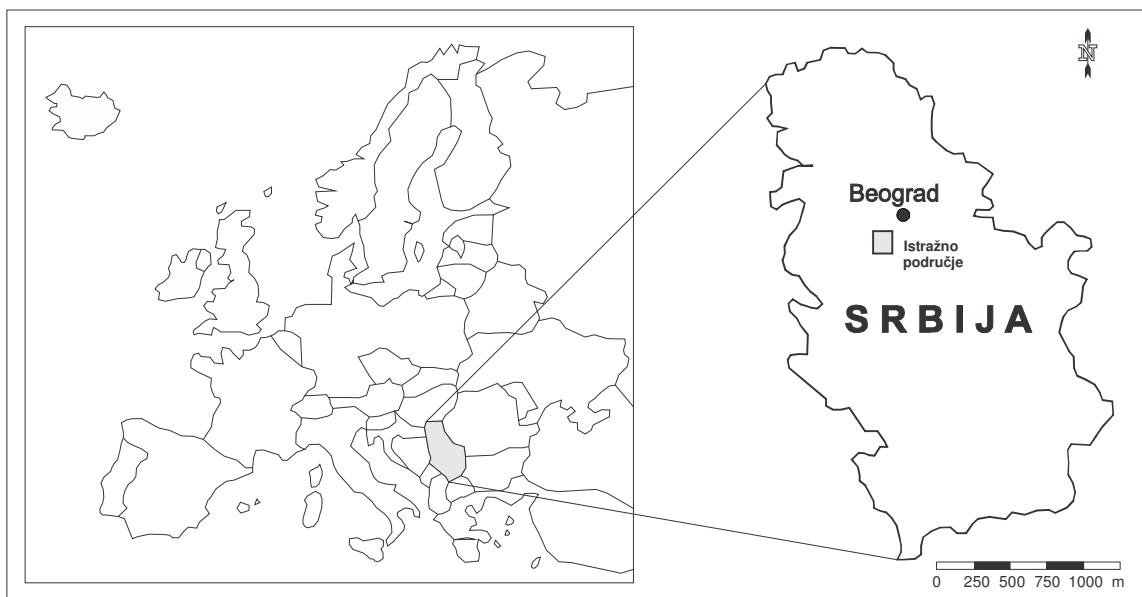
Primenom hidrodinamičkog modeliranja, baziranog na numeričkoj metodi konačnih razlika, određen je bilans podzemnih voda za maksimalno registrovani kapacitet izvorišta „Peštan“. Simulacijom praćenja kretanja konzervativne čestice (eng. particle tracking), određen je radijus dejstva bunara za uslove rada izvorišta maksimalnim kapacitetom za vremenski period od 50 i 200 dana.

**Ključne reči:** vodosnabdevanje, izvorište podzemnih voda, hidrodinamički model, bilans podzemnih voda, analiza praćenja kretanja konzervativne čestice

### UVOD

Opština Lazarevac se nalazi oko 60 km jugozapadno od Beograda (slika 1). Gradsko izvorište „Peštan“ koje se koristi za vodosnabdevanje stanovništva Lazarevca nalazi se na ravničarskom terenu aluvijalne ravni reka Kolubare i Peštana, na nadmorskoj visini od oko 147 m.n.m. Sastoji se od 14 eksploatacionih bunara koji kaptiraju subartesku izdan formiranu u okviru neogenih peskova. Ova izdan se naziva „međuslojna izdan“, obzirom da se nalazi između dva sloja uglja.

Primenom izrađenog hidrodinamičkog modela režima podzemnih voda gradskog izvorišta određeni su bilans podzemnih voda „međuslojne izdani“ na širem području izvorišta i radijus uticaja izvorišta za vremenski period od 50 i 200 dana, gde je korišćena metoda praćenja konzervativne čestice (eng. particle tracking). Period putovanja čestice od 50 dana obuhvata prostor sa kog voda dotiče do vodozahvatnog objekta i on predstavlja II zonu sanitarne zaštite, dok prostor sa kog voda dotiče ka izvorištu u periodu od 200 dana predstavlja treću, najširu, zonu sanitarne zaštite [1].



Slika 1. Geografski položaj istražnog područja  
Figure 1. Physical setting of study area

## GEOLOŠKE I HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE

Na širem istražnom prostoru postoji veći broj bušotina dubine do 300 m koje su u velikoj meri doprinele poznavanju geoloških karakteristika terena, gde su konstatovane kvartarne i tercijerne tvorevine. Od miocenskih sedimenata prisutne su naslage sarmata (glinovito-laporoviti horizont, srednji peskoviti horizont sa interkalacijama sivožutih glina bogatih fosilnom florom i najviši krečnjački horizont) i naslage panona, gde su najviše zastupljeni peskovi različite granulacije sa prosljocima šljunka i glina (slika 2). Pliocenske (pontske) naslage predstavljene su naslagama lignita, glinama, kvarcnim peskovima i dijatomejskom zemljom. Kvartarne naslage imaju najveće rasprostranjenje u širokim rečnim dolinama Kolubare i njenih pritoka. Zastupljene su od površine terena do dubine oko 8-10 m i čine ih aluvijalne gline i šljunkovi (deluvijalne, proluvijalne, i aluvijalne tvorevine).

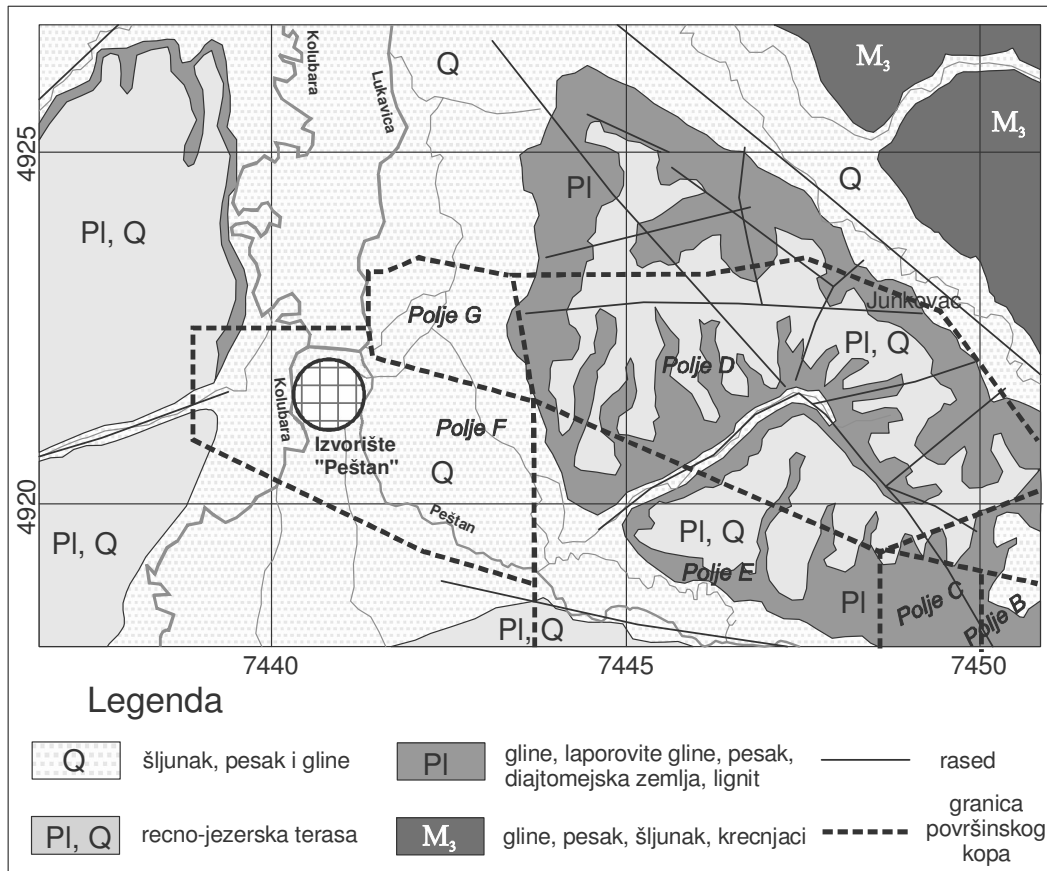
Na širem prostoru istražnog terena formirane su tri izdani: povlatna, međuslojna i podinska.

*Povlatna izdan* - formirana je u aluvijalnim i gornjepontskim peskovima i šljunkovima u povlati gornjeg ugljenog sloja. Neposredni kontakt aluvijalne i međuslojne izdani javlja se jugoistočno od izvorišta „Peštan”, na terenu površinskog kopa „Polje E”

kolubarskog basena [2,3]. Povlatna izdan je na istoku presečena rudarskim radovima površinskog kopa „Polje D”, a na jugoistoku je u vezi sa aluvijonom reke Peštan. Prihranjivanje izdani vrši se infiltracijom padavina i rečne vode Peštana, a dreniranje je difuzno u dolinskim stranama jaruga i potoka.

*Međuslojna izdan* – formirana je između dva ugljena sloja u takozvanim međuslojnim peskovima. Po svom rasprostranjenju, položaju i debljini najznačajniji je kolektor na široj zoni istražnog terena. U okviru površinskog kopa „Polje F”, gde se i nalazi izvorište „Peštan” (slika 2), ova izdan predstavlja produžetak povlatne izdani iz južnog krila površinskog kopa „Polje D” gde glavni ugljeni sloj predstavlja hidrogeološki podinski izolator. Prihranjivanje međuslojne izdani se vrši u području slobodnog dela izdani gde se infiltrira voda od padavina i u pojedinim zonama „Polje C”, gde je erodovan gornji ugljeni sloj, pa je u tim delovima aluvijon u neposrednom kontaktu sa međuslojnim peskovima [4]. Dreniranje se vrši prirodnim putem preko aluvijona reke Kolubare, gde je ostvarena hidraulička veza između međuslojne izdani i izdani u aluvijonu reke Kolubare i veštačkim putem, preko vodozahvatnih objekata (bunara).

*Podinska izdan* - formirana je u donjepontskim peskovima ispod glavnog ugljenog sloja i nalazi se ispod nivoa erozionog bazisa i nivoa reke Peštan. Kako



Slika 2. Geološka karta šireg terena istražnog područja  
Figure 2. Geological map of of the groundwater source „Peštan”

glavni ugljeni sloj zaleže duboko čak i do kote -200 m, ova izdan je pod pritiskom, obzirom da donji ugljeni sloj predstavlja povlatu podinske izdani. Prihranjivanje izdani vrši se na terenima van područja izvorišta „Peštan”, infiltracijom padavina u predelu erodovanog uglja i otkrivenih podinskih peskova. U području aluvijona reke Kolubare dolazi do dreniranja podinske izdani, a do sekundarnog dreniranja dolazi i kroz podinski deo uglja, kroz otvore ostale nakon bušenja, u području jame Junkovac, severoistočno od izvorišta „Peštan” [3, 4].

Što se tiče hidrogeoloških parametara, vrednosti koeficijenta filtracije, specifične izdašnosti izdani i koeficijenta vodoprovodnosti, određene su tokom testiranja eksploatacionih bunara izvorištu u prethodnom periodu [5] i njihov prikaz je dat u tabeli 1. Na osnovu obrade podataka opita crpenja može zaključiti da se u zoni izvorišta „Peštan” koeficijent vodoprovodnosti kreće u granicama između  $7.5 \times 10^{-4}$  –

$1.15 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s, koeficijent filtracije od  $1 \times 10^{-5}$  m/s do  $2.6 \times 10^{-5}$  m/s, a specifična izdašnost izdani između  $1 \times 10^{-5}$  –  $9.23 \times 10^{-3}$ .

## HIDROGEOLOŠKI MODEL

Hidrogeološki model šireg područja izvorišta „Peštan” je baziran na geološkim podacima dobijenih na osnovu raspoloživih podataka o litološkim stubovima dobijenih prilikom bušenja za izradu eksploatacionih bunara i pijezometara, kao i na osnovu hidrogeoloških karakteristika ovog područja.

Izvedena šematizacija šireg područja izvorišta bazira se na postojanju slabije propusnih povlatnih i podinskih sedimenata i vodonosnog horizonta (međuslojna izdan) (tabela 2) kojeg kaptiraju bunari izvorišta, gde je razmatrano horizontalno i vertikalno strujanje podzemnih voda. Obzirom na manji značaj povlatne izdani i odsustvo hidrauličke veze sa kaptiranom

Tabela 1. Vrednosti hidrogeoloških parametara određenih na osnovu ranije izvedenih terenskih radova  
 Table 1. The values of hydrogeological parameters determined on the basis of previously performed field work

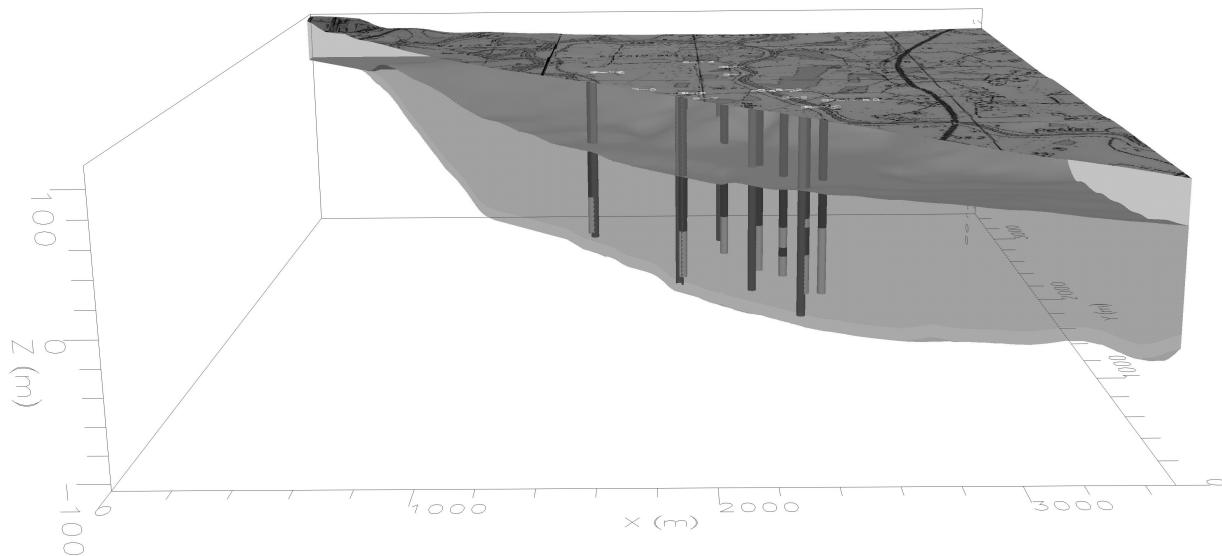
Objekat	Koeficijent vodoprovodnosti ( $m^2/s$ )	Koeficijent filtracije (m/s)	Specifična izdašnost izdani (-)
B-1	$1.15 \times 10^{-3}$	$1.14 \times 10^{-5}$	$4.50 \times 10^{-3}$
B-3	$1.75 \times 10^{-3}$	$2.38 \times 10^{-5}$	$2.11 \times 10^{-3}$
B-4	$1.25 \times 10^{-3}$	$2.60 \times 10^{-5}$	$1.70 \times 10^{-3}$
B-6	$2.60 \times 10^{-3}$	$2.40 \times 10^{-5}$	$9.23 \times 10^{-3}$
B-7	$1.53 \times 10^{-3}$	$1.65 \times 10^{-5}$	$4.50 \times 10^{-3}$
B-8/2	$1.67 \times 10^{-3}$	$1.97 \times 10^{-5}$	$4.50 \times 10^{-3}$
B-9	$1.93 \times 10^{-3}$	$2.21 \times 10^{-5}$	$4.50 \times 10^{-3}$
B-10	$8.50 \times 10^{-4}$	$1.00 \times 10^{-5}$	$1.30 \times 10^{-3}$
B-11	$1.85 \times 10^{-3}$	$1.57 \times 10^{-5}$	$5.94 \times 10^{-3}$
B-12	$7.50 \times 10^{-4}$	$1.80 \times 10^{-5}$	$1.10 \times 10^{-3}$
B-13	$1.25 \times 10^{-3}$	$1.33 \times 10^{-5}$	$1.00 \times 10^{-4}$

međuslojnom izdani, u prvom modelskom sloju se nalaze glinoviti sedimenti, peskovi i šljunkovi povlatne izdani i gornji ugljeni sloj. Takođe, obzirom na odsustvo kontakta međuslojne i podinske izdani na istražnom prostoru, kao i činjenice da je na izvorištu „Peštan“

kaptirana samo međuslojna izdan, podinska izdan nije razmatrana u ovom radu. Na slici 3 prikazan je trodimenzionalni hidrogeološki profil izvorišta „Peštan“.

Tabela 2. Korespondentni slojevi modela i terena  
 Table 2. Corresponding layers of terrain and model layers

prvi izolatorski sloj	kompleks glinovitih povlatnih sedimenata, povlatne izdani i gornjeg ugljenog sloja
drugi vodonosni sloj	sitnozrni do srednjezrni peskovi (međuslojna izdan)
treći izolatorski sloj	glavni ugljeni sloj

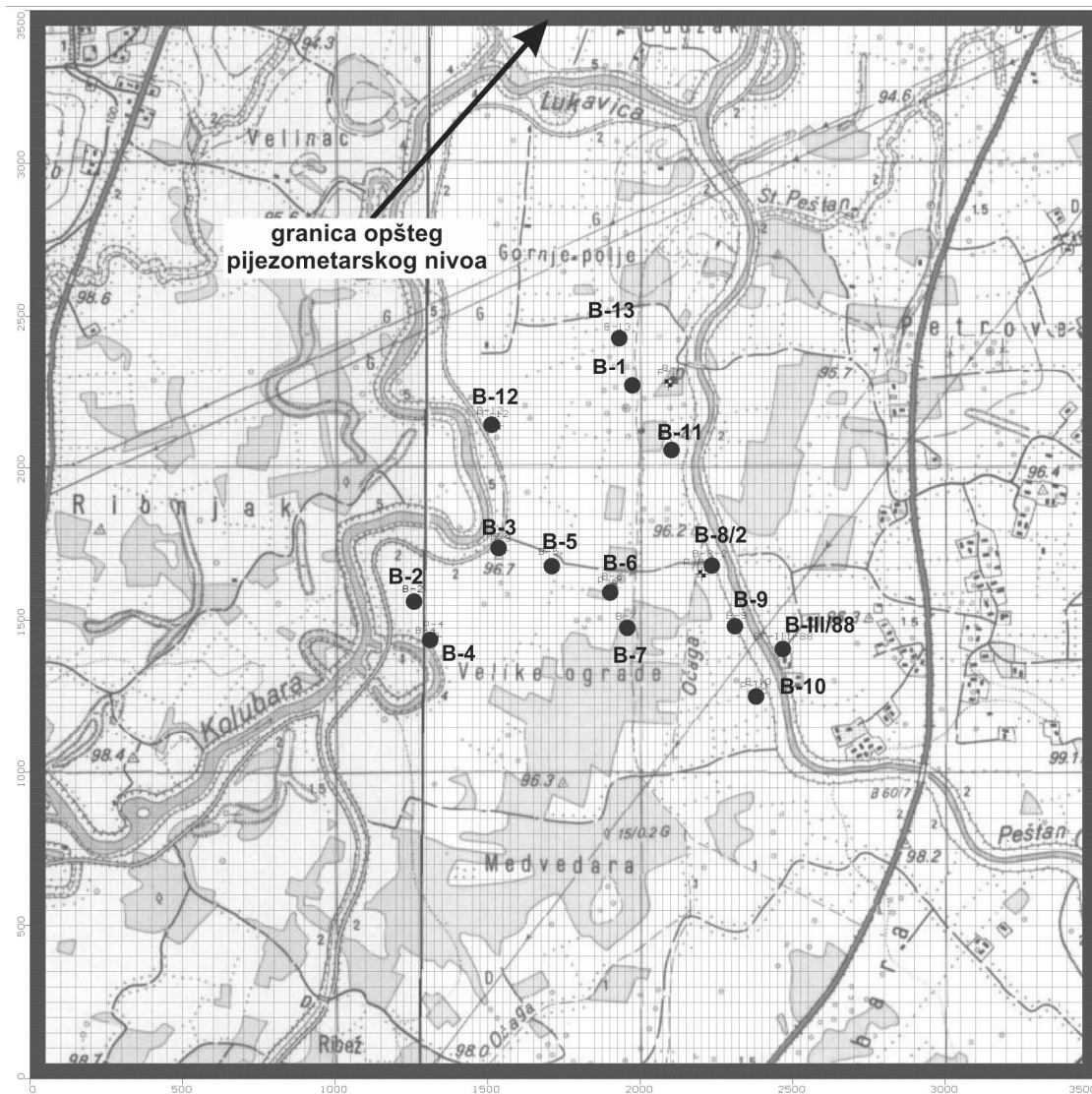


Slika 3. 3D hidrogeološki profil modela izvorišta „Peštan“ (presek SZ – JI)  
 Figure 3. 3D hydrogeological model of the groundwater source „Peštan“ (cross section NW-SE)

## HIDRODINAMIČKI MODEL REŽIMA PODZEMNIH VODA

Koncepcija izrade hidrodinamičkog modela izvorišta podzemnih voda za vodosnabdevanje Lazarevca zasniva se na simulaciji trodimenzionalnog strujanja podzemnih voda. Za izbor koncepcije hidrodinamičkog modela izvorišta, od odlučujućeg značaja su bili prirodni činioci, odnosno: tip i karakteristike zastupljenih geoloških članova, njihovo rasprostranjenje i filtracione karakteristike, zatim mehanizam i režim strujanja podzemnih voda, kao i željeni cilj u okviru postavljenog zadatka.

Tridimenzionalni, numerički model konačnih razlika, urađen je korišćenjem koda ModFlow [6] sa Groundwater Vistas grafičkim interfejsom [7]. Model obuhvata prostor od 3,5 x 3,5 km, sa tri sloja ukupne debljine od 200 m. Orijentisan je u pravcu sever-jug, sa prostornom diskretizacijom u planu gde su veličine ćelija 50 m x 50 m, koja je u zoni izvorišta pogošćena mrežom kvadrata dimenzija 12.5 m x 12.5 m (slika 4). Kao ilustracija diskretizacije strujnog polja i izvedene šematizacije geometrijskih odnosa litoloških članova na istražnom području, na slici 5 je prikazan je rezultat šematizacije koja je izvršena u vertikalnom profilu.



Slika 4. Prikaz diskretizacije područja obuhvaćenog modelom i graničnih uslova u okviru kaptiranog vodonosnog sloja  
Figure 4. Survey of discretization and boundary conditions of the groundwater source „Peštan”

**Zadavanje hidrauličkih parametara u modelu**

Filtracione karakteristike šematizovanih modelskih slojeva su zadavane preko vrednosti koeficijenata filtracije i specifične izdašnosti izdani. Navedeni parametri porozne sredine su zadavani kao reprezentativne vrednosti u svakoj ćeliji diskretizacije. Kao inicijalne vrednosti koeficijenta filtracije i specifične izdašnosti izdani kod postavke modela korišćene su vrednosti ovog parametra određene tokom testiranja eksploatacionih bunara izvorištu u prethodnom periodu (tabela 1).

**Granični uslovi**

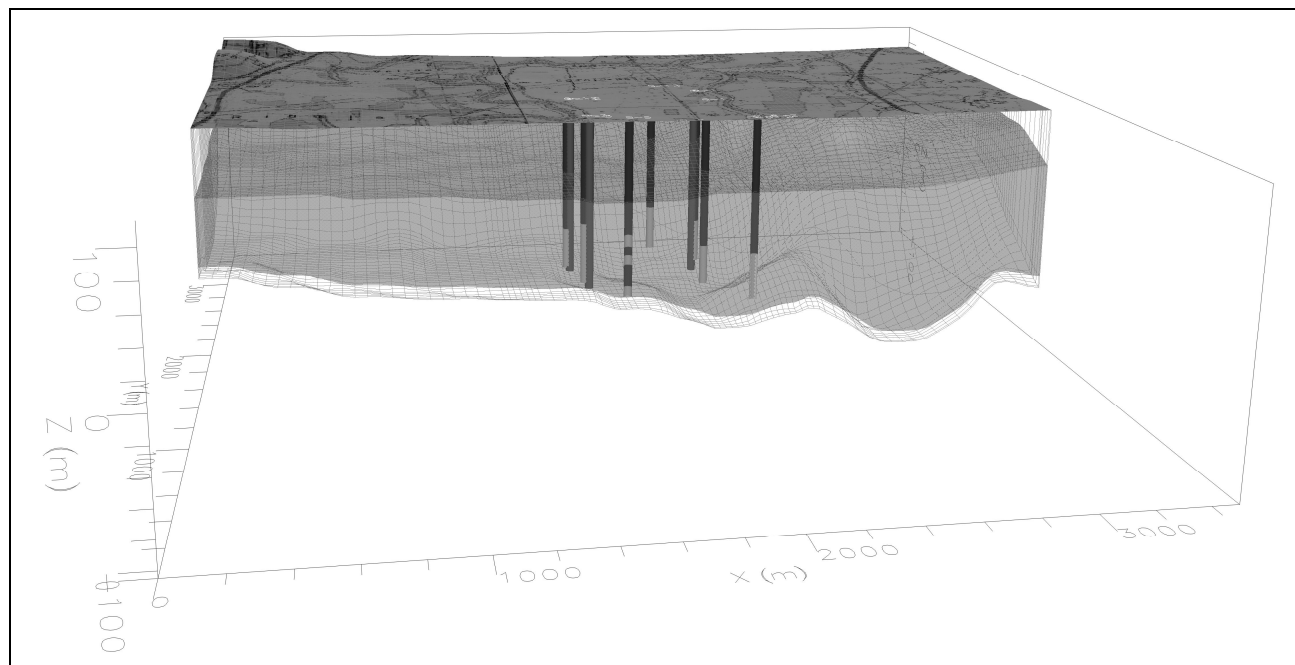
U hidrodinamičkom modelu izvorišta „Peštan”, primenjeni su sledeći granični uslovi: granični uslov gde je nivo zavistan od proticaja (Košijev ili mešoviti granični uslov) i granični uslov zadanog proticaja (Nojmanov granični uslov).

Graničnim uslovom gde je nivo zavistan od proticaja (Košijev ili mešoviti granični uslov) simulirani su uticaji reka Kolubara, Peštan i Lukavica. Obzirom na dubinu zaleganja vodonosnog sloja koji je kaptiran na izvorištu i debeli paket slabije propusnih i nepropusnih sedimenata u njegovoj povlati, površinski tokovi

nemaju direktan uticaj na režim podzemnih voda kaptirane izdani. Navedeni površinski tokovi su zadani u prvom modelskom sloju sa njihovim srednjim višegodišnjim vrednostima (za period osmatranja 1991-2010. god.). Inicijalne debljine taloga na dnu rečenog korita su zadane u vrednosti od 0,2 m, sa inicijalnom vrednošću koeficijenta filtracije rečnog taloga od  $K = 1 \times 10^{-7}$  m/s. Debljine i koeficijent filtracije rečnog taloga, odnosno konduktivitet ovog tipa graničnog uslova predstavlja jedan od rezultata etaloniranja modela.

Istim tipom graničnog uslova (granični uslov gde je nivo zavistan od proticaja) simuliran je uticaj izvora prihranjivanja ili dreniranja koji se nalazi van područja obuhvaćenog modelom. U kodu ModFlow, koji je ovde korišćen, predstavljen je sa „*granicom opšteg pijezometarskog nivoa*”. U drugom modelskom sloju registrovani pijezometarski nivoi kaptirane međuslojne izdani u lokalnim izvorištima su zadati na ovaj način, obzirom na udaljene lokacije prihranjivanja ove izdani. Na slici 4 prikazan je ovaj tip graničnog uslova.

Graničnim uslovom zadanog proticaja (Nojmanov granični uslov) simulirani su uticaji eksploatacionih bunara na izvorištu. Na slici 4 dat je prikaz položaja bunara. Na izvorištu „Peštan” za potrebe izrade



Slika 5. Prikaz diskretizacije prostora izvorišta „Peštan” duž profila zapad-istok  
 Figure 5. Survey of discretization (cross-section west-east) of the groundwater source „Peštan”

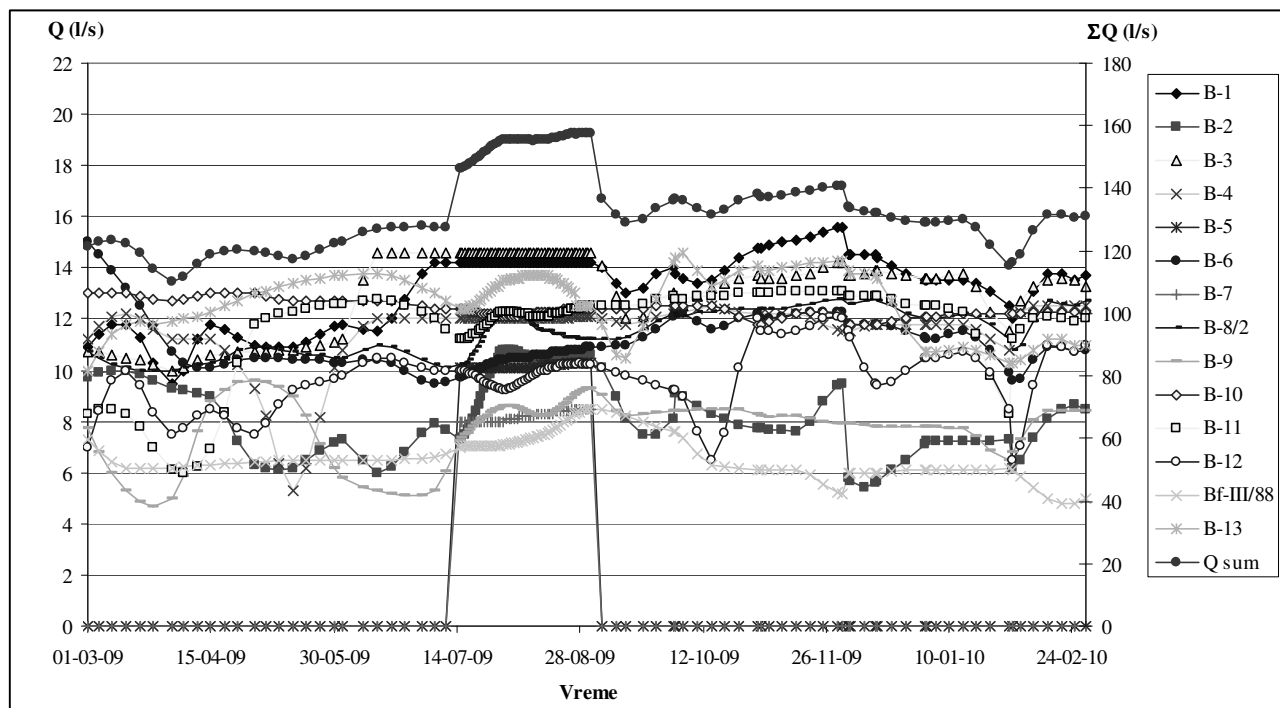
hidrodinamičkog modela registrovane su vrednosti izdašnosti bunara na svakih svakih pet dana u periodu 01.03.2009. – 01.03.2010. god. Tokom ovog perioda (16.07. – 31.08.) izveden je i dugotrajni spregnuti test sa dnevnim merenjima kapaciteta eksploatacionih bunara. Na slici 6 prikazan je dijagram registrovanih pojedinačnih proticaja bunara u posmatranom jednogodišnjem periodu na izvorištu „Peštan”. Na modelu su pojedinačni kapaciteti bunara zadavani poštujući registrovanu dinamiku rada bunara i uzimajući u obzir merene pojedinačne kapacitete bunara. Filterske konstrukcije bunara su zadate na realnim kotama na kojima su ugrađene, a kod pojedinih bunara kao višesegmentni filteri (slike 3 i 5).

Koristeći granični uslov zadatog proticaja (Nojmanov granični uslov) u prvom modelskom sloju simulirana je *efektivna infiltracija*. U ukupnom bilansu podzemnih voda, tzv. „vertikalni bilans” izučavanog područja nema direktnog uticaja na kaptirani vodonosni horizont, iz navedenih razloga kod opisa graničnog uslova „reka”. Pod vertikalnim bilansom ovde se podrazumeva efektivna, rezultatna infiltracija. Ovu veličinu čini

suma infiltracije od padavina, isparavanja sa nivoa podzemnih voda i evapotranspiracija. Pored toga, od velikog je značaja dubina do nivoa podzemnih voda, stanje vlage, kao i litološki sastav tla nadzidsanske zone. Imajući u vidu da je prvi sloj (tabela 2) slabe vodopropusnosti, infiltracija padavina ima minimalni uticaj na režim podzemnih voda međuslojne izdani. Kao inicijalna vrednost efektivne infiltracije uzeta je vrednost od 15% srednje mesečnih vrednosti padavina za period 01.11.2008. - 02.02.2010. god. sa kišomerne stanice „Lazarevac“.

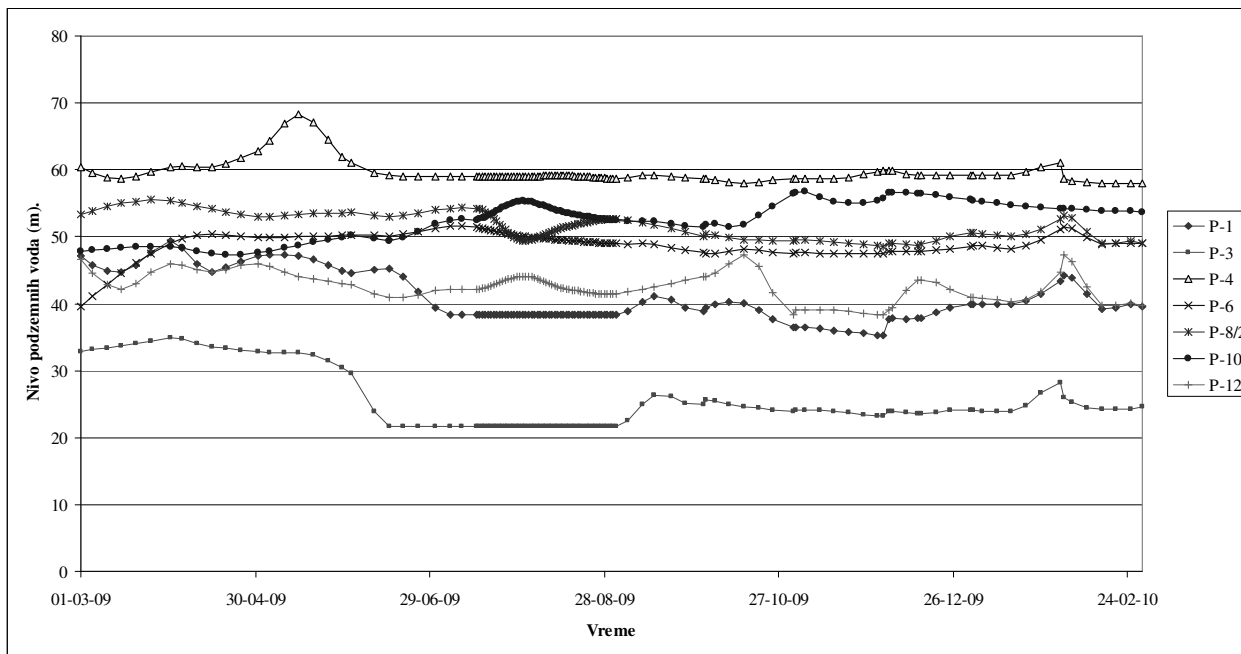
### Kalibracija modela

Etaloniranje modela je sprovedeno u nestacionarnim uslovima strujanja za analizirani vremenski period (01.03.2009. – 01.03.2010. god.). Osnovni proračunski korak je bio jedan dan, koji je na nižem nivou iteracija podeljen na 10 delova, nejednakog trajanja (faktor 1,2). Na slici 8 dat je uporedni prikaz registrovanih pijezometrijskih nivoa na osmatračkim objektima izvorišta.



Slika 6. Dijagram registrovanih pojedinačnih proticaja bunara i sumarnog kapaciteta izvorišta „Peštan” u periodu 01.03.2009. – 01.03.2010. god.

Figure 6. Diagram of the registered well capacities of individual wells and summary capacity of the source in the period between 01.03.2009. – 01.03.2010.



Slika 8. Nivogrami na osmatračkim objektima izvorišta „Peštan” u periodu 01.03.2009. – 01.03.2010. god.  
 Figure 8. Groundwater levels in piezometers of the groundwater source „Peštan” (01.03.2009. – 01.03.2010.)

Kalibracija modela je završena kada je dobijena zadovoljavajuća saglasnost između registrovanih nivoa podzemnih voda i nivoa dobijenih proračunom. Na slici 9 prikazan je raspored pijezometarskih nivoa u kaptiranoj međuslojnoj izdani za maksimalno registrovane količine zahvaćenih voda na izvorištu „Peštan” od 157.8 l/s (31.08.2009. god.). Na slici 10 dati su nivoi podzemnih voda registrovani na osmatračkim objektima i dobijeni proračunom u procesu etaloniranja modela (u istim objektima). Može se zaključiti da postoji veoma dobra usaglašenost rezultata kalibracije modela sa merenim vrednostima na osmatračkim objektima. Određena odstupanja registrovanih i računskih vrednosti odnose se na periode spregnutog rada bunara izvorišta i vezana su za pijezometre P-1 i P-3.

**BILANS PODZEMNIH VODA**

U analizi bilansa podzemnih voda na području obuhvaćenom modelom, konstatovano je da u uslovima koji su vladali tokom maksimalnog zahvatanja podzemnih voda (157.8 l/s) na izvorištu „Peštan”, najviše podzemnih voda u kaptiranom vodonosnom

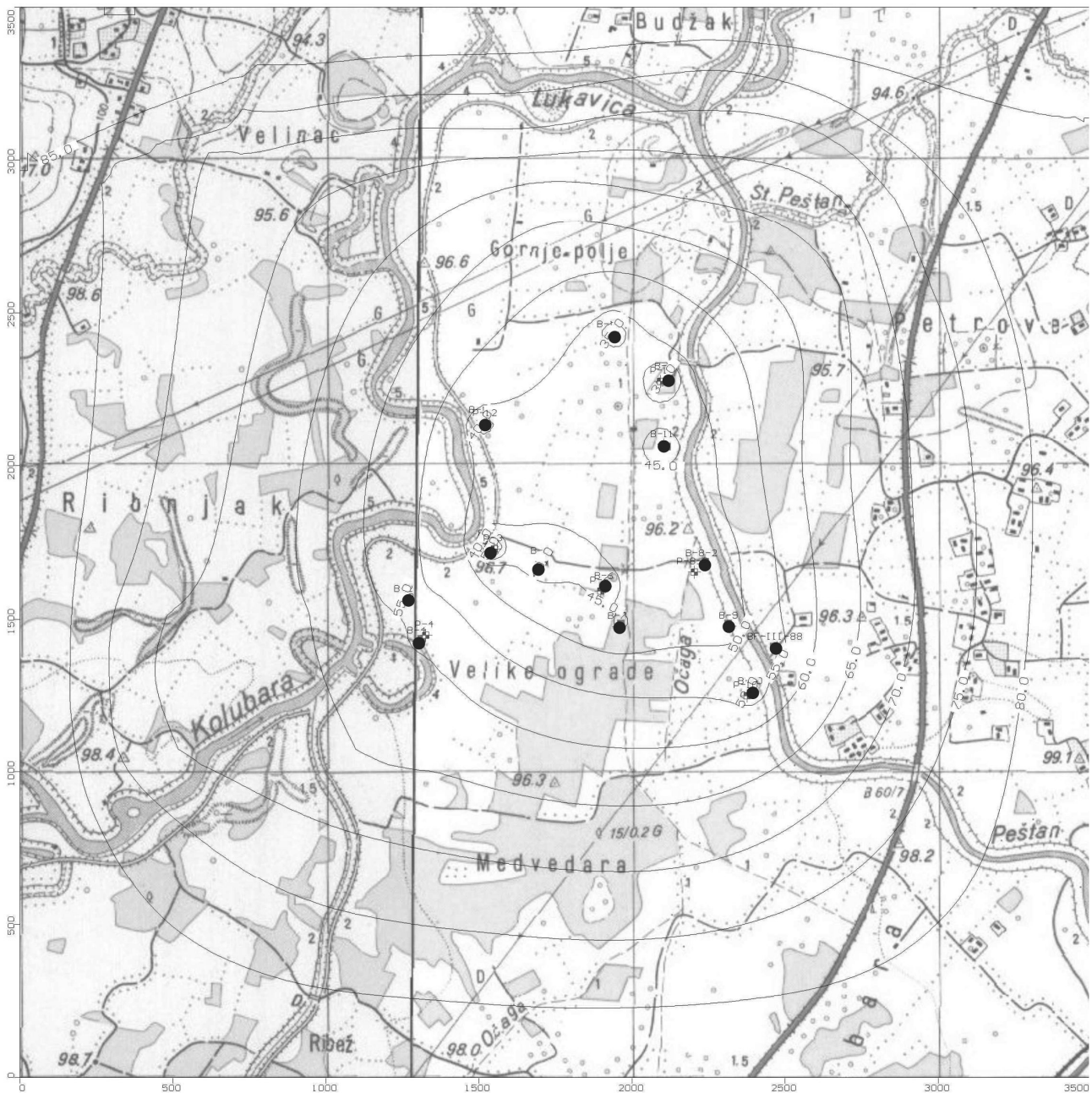
horizontu dolazi iz pravca juga (28.45 %) i zapada (25.85%). Ne mnogo manje količine dotiču i iz pravca severa i istoka u iznosima od 23.64% i 22.06%. U tabeli 3 dat je prikaz doticaja, u l/s, u područje obuhvaćeno modelom za navedene uslove (31.08.2009. god.).

Tabela 3. Elementi bilansa podzemnih voda šireg područja izvorišta „Peštan” za maksimalni kapacitet izvorišta od 157.8 l/s (31.08.2009. god.)

Table 3. Elements of the groundwater balance of the wider area of the “Peštan” groundwater source for its maximum wells capacity of 157.8 l/s

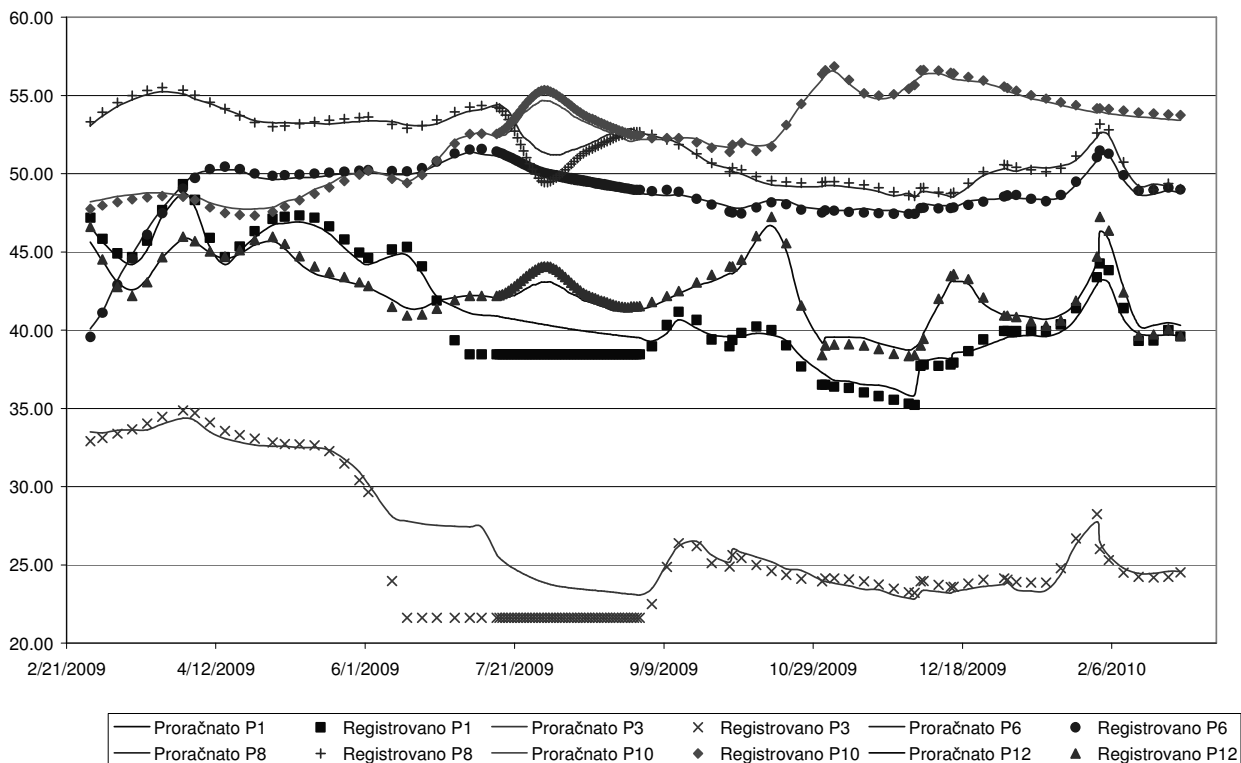
Doticaj (l/s)		Oticaj (bunari) (l/s)
Sever	37.3	157.8
Istok	34.8	
Jug	44.9	
Zapad	40.8	
<b>Ukupno</b>	<b>157.7</b>	<b>157.8</b>





Slika 9. Karta rasporeda pijezometarskog nivoa šire okoline izvorišta „Peštan” (31.08.2009. god.) za maksimalni kapacitet izvorišta

Figure 9. Map of head distributions in the wider area of the “Peštan” groundwater source (31.08.2009.) for its maximum capacity



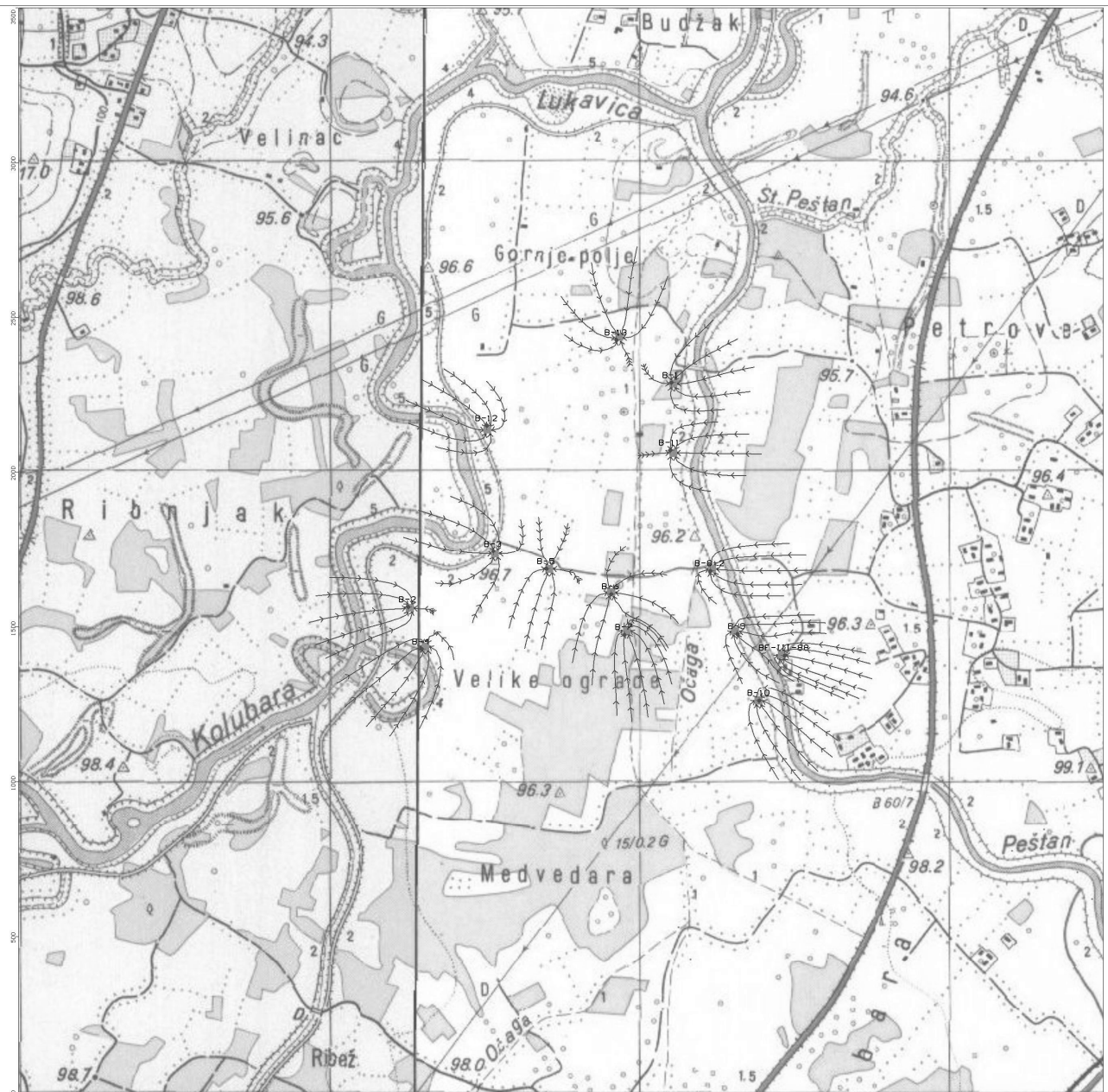
Slika 10. Nivogrami podzemnih voda u piježometrima registrovani u prirodi i dobijeni procesom etaloniranja modela  
 Figure 10. Groundwater levels in the observation well, registered and calculated during the process of model calibration

**RADIJUS UTICAJA IZVORIŠTA „PEŠTAN”**

Za potrebe utvrđivanja radijusa uticaja koji ostvaruju eksploatacioni bunari izvorišta „Peštan” u radu sumarnim kapacitetom od 157.8 l/s, sprovedeno je određivanje udaljenja sa kojeg podzemne vode dolaze do eksploatacionih bunara za 50, odnosno za 200 dana. Navedeno je izvedeno simulacijom praćenja kretanja konzervativne čestice (traseira) do eksploatacionih bunara na hidrodinamičkom modelu režima izdani, korišćenjem koda ModPath [7], a rezultati proračuna su prikazani na slikama 12 i 13. Strelice na strujnim linijama koje su usmerene ka eksploatacionim bunarima označavaju segment od 10 dana putovanja konzervativne čestice. Sa pomenutih slika se vidi da dimenzije radijusa uticaja izvorišta „Peštan” za kapacitet izvorišta od 157.8 l/s i vreme putovanja konzervativne čestice od 50 dana iznosi 300-350 m, dok je za vreme putovanja čestice od 200 dana oko 700-750 m od ose bunara.

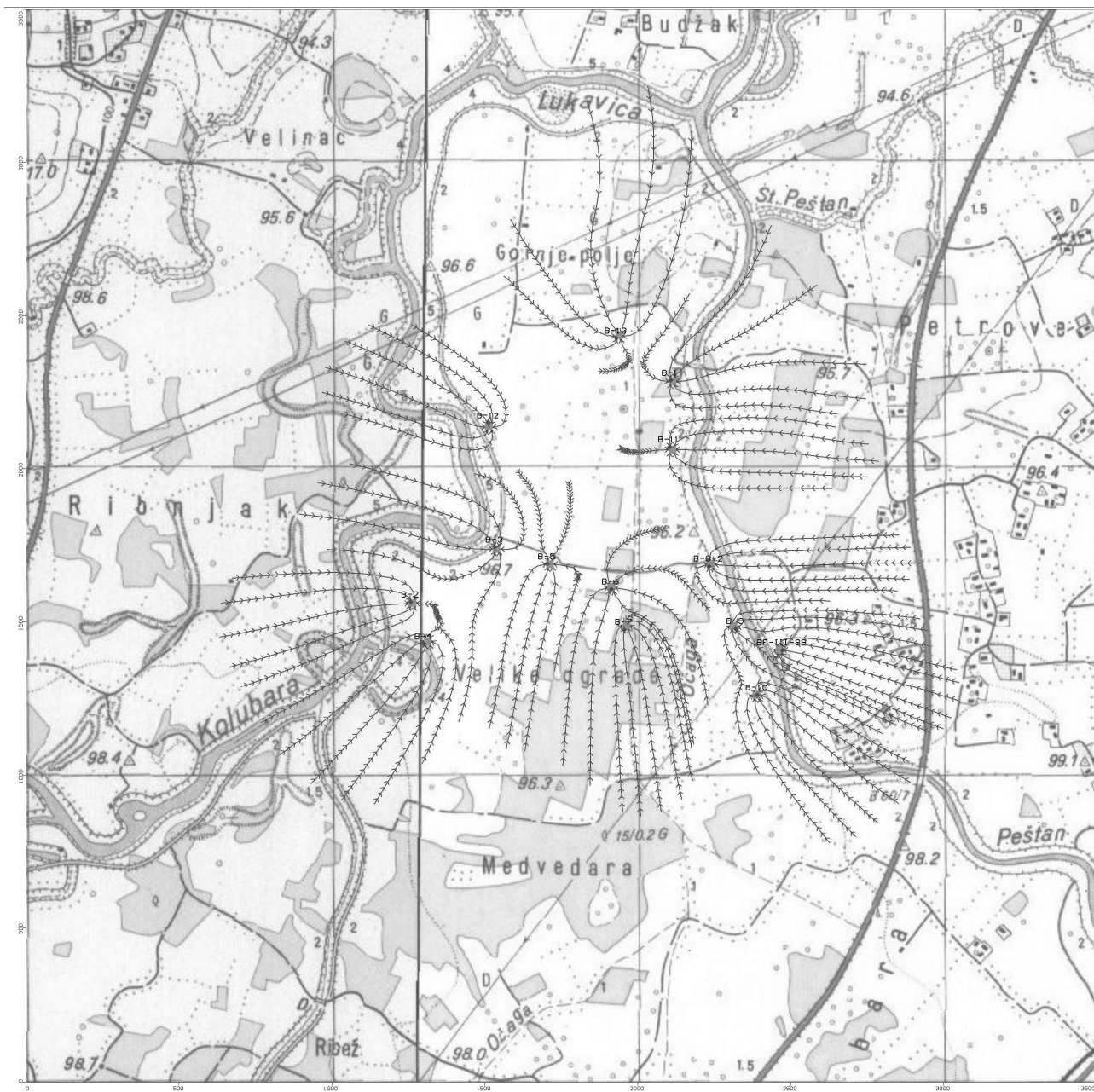
**ZAKLJUČAK**

Na gradskom izvorištu “Peštan” za vodosnabdevanje grada Lazarevac, urađen je hidrodinamički model režima podzemnih voda. Kalibrisan je za nestacionarne uslove strujanja podzemnih voda međuslojne izdani. U analizi bilansa podzemnih voda, konstatovano je na izvorištu „Peštan” najviše podzemnih voda u kaptiranom vodonosnom horizontu dolazi iz pravca juga (44.9 l/s) i zapada (40.8 l/s). Pored toga, analizom praćenja konzervativne čestice, utvrđen je i radijus dejstva bunara izvorišta. Maksimalni kapacitet izvorišta „Peštan” iznosi 157.8 l/s, a za uslove eksploatacije ovim kapacitetom, dimenzije radijusa uticaja izvorišta „Peštan” iznose oko 700-750 m za vreme putovanja čestice od 200 dana i oko 300-350 m za vreme putovanja čestice od 50 dana.



Slika 12. Raspored strujnica oko eksploatacionih bunara izvorišta „Peštan” za kapacitet od 157.8 l/s koje pokazuju udaljenje potrebno da se do bunara filtrira voda za 50 dana

Figure 12. Arrangement of the streamlines around the exploitation wells at the “Peštan” groundwater source for the capacity of 157.8 l/s, which indicate the distance from the well needed for water filtering during 50 days



Slika 13. Raspored strujnica oko eksploatacionih bunara izvorišta „Peštan” za kapacitet od 157.8 l/s koje pokazuju udaljenje potrebno da se do bunara filtrira voda za 200 dana

Figure 13. Arrangement of the streamlines around the exploitation wells at the “Peštan” groundwater source for the capacity of 157.8 l/s, which indicate the distance from the well needed for water filtering during 200 days

## ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije za finansiranje projekata 176022 i III-43004.

## LITERATURA

- [1] Pravilnik o načinu određivanja i održavanja zona sanitarne zaštite izvorišta vodosnabdevanja, Službeni glasnik Republike Srbije, br. 92, 2008.
- [2] Bajić D. and Polomčić D., A conceptual hydrogeological model for open pit mine „Polje E“ (Kolubara coal basin, Serbia), Proceedings of GIS Ostrava 2012 - Surface models for geosciences symposium, Ostrava, Czech Republic, 23-25 January, 2012, Růžička J. and Růžičková K, Eds., VSB - Technical University of Ostrava: Ostrava, 2012, pp. 1-12, 2012.
- [3] Polomčić D., Bajić D. and Ristić-Vakanjac V., Groundwater balance, natural recharge and drainage zones at open pit mine „Polje E“ of Kolubara Coal Basin (Republic of Serbia), 7<sup>th</sup> Conference on Sustainable Development of Energy Water and Environmental Systems, 01-07 July, Ohrid, Republic of Macedonia, ID: SDEWES2012\_FP\_80, 2012.
- [4] Polomčić D., Hydrodynamical model of the open pit mine “Polje C” (Kolubara Coal Basin, Serbia), International Conference “Coal 2008”, 15-18 October, Belgrade, Serbia, 407-419, 2008.
- [5] Bogdanović V., Ilić Z., Polomčić D. i dr., Izbor ograničenja i otvaranja površinskog kopa „Južno polje” u kolubarskom ugljenosnom basenu, Kolubara projekt, Lazarevac, 2007.
- [6] Harbaugh A.W., Banta E.R., Hill M.C. and McDonald M.G., MODFLOW-2000: The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model. User Guide to Modularization Concepts and the Ground-Water Flow Process, U.S. Geological Survey Open-File Report 00-92, Reston, VA, USA, pp. 121, 2000.
- [7] Rumbaugh, J.O. & Rumbaugh, D.B., Guide to using Groundwater Vistas: version 5, New York: Environmental Simulations, 2007.
- [8] Pollock DW, User's guide for MODPATH/MODPATHPLOT, version 3: a particle tracking post-processing package for MODFLOW, the US Geological Survey finite-difference ground-water flow model, U.S. Geological Survey Open-File Report 94-464, 1994.

## HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS OF WATER SUPPLY SOURCE „PEŠTAN“ (LAZAREVAC, SERBIA)

by

Dušan POLOMČIĆ, Dragoljub BAJIĆ, Vesna RISTIĆ VAKANJAC, Marina ČOKORILO  
University of Beograd, Faculty of Mining and Geology, Department of Hydrogeology

### Summary

Geological and hydrogeological research in the past of few years was done in the wider area of the groundwater source of Lazarevac aimed to provide data for determining groundwater reserves, balance and the radius of influence of the wells. This area belongs to the Kolubara Coal Basin which ranks among the largest coal basins in the Republic of Serbia. The groundwater source is located on the Kolubara and Pestan river's alluvial plain. Water supply source of Lazarevac is tapping groundwater by 14 wells. Tapped water-bearing horizon is at a depth of about 180 m, formed in the Neogene sands, thickness of about 70 m. This unconfined aquifer is formed between two coal seams in so called interlayered sands, where its name comes - „the interlayered aquifer“. So far, exploitation of water there have been significant reductions of groundwater in the area of source, the order of magnitude of 40 to 50 m. This is the result of over-pumping groundwater, which is due to the development of open pit mines and cutting off contact with the rivers that recharge aquifer.

For the purpose of simulation of groundwater exploitation on the public source of water supply of the city of Lazarevac, hydrodynamic flow model of the

groundwater regime was created. Its creating was made in phases, which began by basic interpretation of collected data, along with schematization of the porous medium, groundwater flow and flow conditions, and finally, forming and calibration of model. This multilayer model is based on the simulation of three-dimensional groundwater flow. Natural factors are of crucial importance in model conceptualization. They are type and characteristics of the represented geological units, distribution of water-bearing and impermeable units, seepage characteristics of porous media and mechanism and regime of groundwater flow.

Using the hydrodynamic modeling, based on numerical method of finite difference, it was shown groundwater balance of sources in the wider area of Lazarevac. Also, it was determined the radius of influence of groundwater source by simulation of conservative particles for a period of 50 and 200 days.

Keywords: water supply, groundwater source, hydrodynamic modeling, groundwater balance, particle tracking

Redigovano 19.07.2013