

# Šematizacija hidrograma i nivograma radnog nivoa kod bunara sa horizontalnim drenovima

Dušan Polomčić, Dragoljub Bajić, Jelena Ratković, Đorđije Božović



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Šematizacija hidrograma i nivograma radnog nivoa kod bunara sa horizontalnim drenovima | Dušan Polomčić, Dragoljub Bajić, Jelena Ratković, Đorđije Božović | Proceedings of the XVI Serbian Symposium on Hydrogeology, Zlatibor, Serbia, 28. September - 02. October, 2022 | 2022 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0007172>

UNIVERZITET U BEOGRADU  
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET  
DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU

HG

XVI SRPSKI SIMPOZIJUM  
O HIDROGEOLOGIJI  
sa međunarodnim učešćem  
**ZBORNİK RADOVA**



ZLATIBOR  
28. septembar - 02. oktobar  
2022. godine



**XVI SRPSKI SIMPOZIJUM O HIDROGEOLOGIJI**  
sa međunarodnim učešćem  
**ZBORNİK RADOVA**

**IZDAVAČ:**

Univerzitet u Beogradu  
Rudarsko-geološki fakultet  
Đušina 7

**ZA IZDAVAČA:**

Prof. dr Biljana Abolmasov, dekan  
Rudarsko-geološki fakultet

**UREDNIK:**

Doc. dr Ana Vranješ

**TIRAŽ:**

100 primeraka

**ŠTAMPA:**

Štamparija Grafolik, Beograd

**GODINA IZDANJA: 2022.**

Na 12/19-oj, sednici Departmana za hidrogeologiju doneta je odluka o organizaciji XVI srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, koja je utvrđena saglasnošću Nastavno-naučnog veća Rudarsko-geološkog fakulteta od 30.12.2019.

Naslovna strana: Sušičko vrelo, Zlatibor

CIP - Каталогизација у публикацији - Народна библиотека Србије, Београд

556(082)  
628.1(082)

СРПСКИ симпозијум о хидрогеологији са међународним учешћем (16 ; 2022 ; Златибор)  
Зbornik radova / XVI Srpski simpozijum o hidrogeologiji sa međunarodnim  
učešćem, Zlatibor 28. septembar - 02. oktobar 2022. godine ; [urednik Ana  
Vranješ]. - Beograd : Univerzitet, Rudarsko-geološki fakultet, 2022  
(Beograd : Grafolik). - [18], 514 str. : ilustr. ; 30 cm

Na vrhu nasl. str.: Departman za hidrogeologiju. - Radovi ćir.i lat. -  
Tiraž 100. - Str. [5-6]: Uvodna reć / Dejan Milenić. - Abstracts. -  
Bibliografija uz svaki rad.

ISBN 978-86-7352-380-4

a) Хидрогеологија - Зборници b) Снабдевање водом - Зборници

COBISS.SR-ID 74364937

## **ORGANIZACIONI ODBOR:**

### **Predsednik:**

*Doc. dr Ana Vranješ, dipl. inž.*

### **Članovi:**

*Prof. dr Petar Dokmanović, dipl. inž.*

*Doc. dr Ljiljana Vasić, dipl. inž.*

*Dr Tanja Petrović Pantić, dipl. inž.*

*Natalija Radosavljević, mast. inž.*

*Velizar Nikolić, dipl. inž.*

*Vukašin Vučević dipl.inž.*

*Andrej Pavlović, dipl. inž.*

*Dejan Drašković, dipl. inž.*

*Branko Ivanković, dipl. inž.*

*Nenad Toholj, dipl. inž.*

*Boban Jolović, dipl. inž.*

*Uroš Jurošević, dipl. inž.*

## **NAUČNI ODBOR:**

### **Predsednik:**

*Prof. dr Dejan Milenić, dipl. inž.*

### **Članovi:**

*Prof. dr Zoran Stevanović, dipl. inž.*

*Prof. dr Dušan Polomčić, dipl. inž.*

*Prof. dr Vesna Ristić Vakanjac, dipl. inž.*

*Prof. dr Igor Jemcov, dipl. inž.*

*Prof. dr Vladimir Živanović, dipl.inž.*

*Prof. dr Dragoljub Bajić, dipl. inž.*

*Doc. dr Jana Štrbački, dipl.inž*

*Doc. dr Saša Milanović, dipl. inž.*

*Prof. dr Veselin Dragišić, dipl. inž.*

*Prof. dr Milan Radulović, dipl. inž.*

*Prof. dr Zoran Nikić, dipl. inž*

*Doc. dr Nenad Marić, dipl. inž.*

*Prof. dr Petar Milanović, dipl. inž.*

## **PROGRAMSKO-UREĐIVAČKI ODBOR:**

### **Predsednik:**

*Prof. dr Dušan Polomčić, dipl. inž.*

### **Članovi:**

*Prof. dr Dejan Milenić, dipl. inž.*

*Prof. dr Nevenka Đerić, dipl. inž.*

*Doc. dr Ana Vranješ, dipl. inž.*

**ORGANIZATOR SIMPOZIJUMA:**

*UNIVERZITET U BEOGRADU*

*RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET*

*DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU*

*u saradnji sa*

*DRUŠTVOM GEOLOŠKIH INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE*

*SRPSKIM GEOLOŠKIM DRUŠTVOM*

*NACIONALNIM KOMITETOM IAH*

***POKROVITELJ:***

**REHAU d.o.o.**

***SPONZORI:***

Departman za hidrogeologiju, Rudarsko-geološki fakultet

Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

BeoGeoAqua d.o.o.

Opština Čajetina

Turistička organizacija Opštine Brus

Hotel Zlatibor Mountain Resort&Spa

Knjaz Miloš

***DONATOR:***

Gold Gondola

Ibis-Inženjering

## ŠEMATIZACIJA HIDROGRAMA I NIVOGRAMA RADNOG NIVOVA KOD BUNARA SA HORIZONTALNIM DRENOVIMA

**D. Polomčić<sup>1</sup>, D. Bajić<sup>1</sup>, J. Ratković<sup>1</sup>, Đ. Božović<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Rudarsko-geološki fakultet, Đušina 7, 11000 Beograd,

E-mail: [dusan.polomcic@rgf.bg.ac.rs](mailto:dusan.polomcic@rgf.bg.ac.rs), [dragoljub.bajic@rgf.bg.ac.rs](mailto:dragoljub.bajic@rgf.bg.ac.rs),

<sup>2</sup> Beogradski vodovod i kanalizacija, Vodovodska 158, 11000 Beograd. E-mail: [djordjije.bozovic@bvk.rs](mailto:djordjije.bozovic@bvk.rs)

**Apstrakt:** Bunari sa horizontalnim drenovima (BHD), čiji se rad zasniva na obalskoj filtraciji površinskih voda, obezbeđuju najveći kapacitet crpenja, ali i najbrže stare ako su uslovi rada neadekvatni. U radu je analiziran rad dva BHD-a na beogradskom izvoristu podzemnih voda. Na beogradskom izvoristu nalazi se 99 BHD, što ga čini jednim od najvećih izvora ove vrste u svetu. U radu se razmatra šematizacija hidrograma crpenja i nivograma radnog nivoa vode BHD-a u slučajevima kada postoji relativno dug vremenski interval između dva uzastopna merenja navedenih parametara. Razvijen je algoritam metodologije eksperimenta u više koraka. Prvo se analiziraju hidrogrami i nivogrami radnog nivoa bunara, a zatim se šematizuju. Razmatrane su četiri alternativne šematizacije. Trodimenzionalni numerički model dva šireg područja BHD-a, korišćen je za procenu efikasnosti analizirane četiri alternative šematizacije hidrograma i nivograma radnog nivoa BHD. Alternative se upoređuju analizom greške modela (nivoi i bilans podzemnih voda). Metodologija je verifikovana preko određivanja pojedinačne izdašnosti drenova BHD-a i kvantifikacije smanjenja propusne moći drenova bunara.

**Cljučne reči:** šematizacija radnog nivoa u bunaru, šematizacija proticaja bunara, izdašnost horizontalnih drenova, opadanje propusnosti drenova, Modflow-USG, CLN paket

### UVOD

Bunari sa horizontalnim drenovima (BHD) su po pravilu objekti najveće izdašnosti u vodozahvatnim sistemima zasnovanim na obalskoj filtraciji. Jedan od problema na koji se nailazi tokom izučavanja hidraulike bunara sa horizontalnim drenovima prikazan je na primeru izvorišta za vodosnabdevanje Beograda (Serbia). Na pomenutom izvorištu postoji 99 ovakvih objekata, i jedno je od izvorišta sa najvećim brojem ovih objekata. Osnovna karakteristika monitoringa koji se obavlja na njima je da postoje veliki vremenski razmaci između dva uzastopna merenja. U ovakvim okolnostima, kada su prisutni značajni vremenski periodi između dva uzastopna merenja, osnovno pitanje je kako izvršiti šematizaciju nivograma radnog nivoa u bunaru i šematizaciju hidrograma eksploatacije podzemnih voda, što predstavlja i polaznu hipotezu u radu. Šematizacija nivograma i hidrograma je neophodna faza u analizi uslova i efekata zahvatanja podzemnih voda. Takođe, ovo je neophodan korak u pripremi podataka za unos u hidrodinamički model podzemnih voda.

U cilju rešavanja postavljenog problema, analizirane su tri mogućnosti zadavanja vrednosti radnog nivoa i ukupnog proticaja bunara sa horizontalnim drenovima RB-26 i RB-27 na beogradskom izvoristu.

Predložena metodologija u radu predstavlja univerzalni algoritam koji se može primeniti na svim izvorištima podzemnih voda prilikom analize pomenute problematike kod izučavanja bunara sa horizontalnim drenovima, ali i kod svih ostalih tipova vodozahvata. Sprovedenom analizom prema predloženoj metodologiji, obuhvaćena su dva susedna bunara sa horizontalnim drenovima na beogradskom izvoristu podzemnih voda.

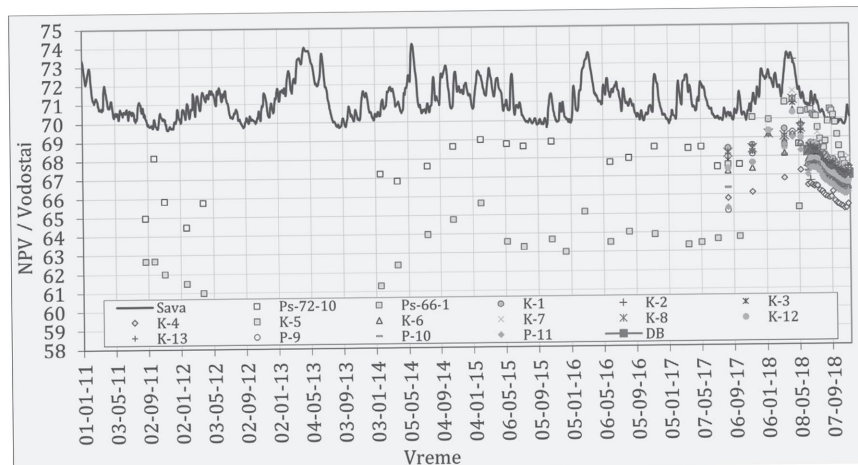
### ISTRAŽNO PODRUČJE

Istražno (test) područje se nalazi na teritoriji grada Beograda (Srbija), na levoj obali reke Save, na 2 km od ušća Save u Dunav. Na ovom području nalazi se po 4 bunara sa horizontalnim drenovima na svakoj od obala reke Save, kao integralni deo izvorišta podzemnih voda koje se koristi za javno snabdevanje Beograda.

Bunari sa horizontalnim drenovima RB-26 i RB-27 imaju konstrukciju uobičajenu za ovaj tip vodozahvatnog objekta na beogradskom izvoristu. Sastoji se od armirano-betonske nadzemne bunarske kućice, armirano-betonskog vodosabirnog bunarskog šahta i čeličnih drenova. Dubina bunara RB-26 je 25.75 m i ima ukupno 7 aktivnih drenova ukupne dužine 365.50 m, a dubina bunara RB-27 je 24.52 m i ima 8 aktivnih drenova ukupne dužine od 430.10 m (na osnovu poslednje inspekcije objekata iz 2006. godine). Orijentacija drenova ovih bunara je prikazana na slici 4.

U pleistocenskim i holocenskim sedimentima izgrađenim od najrazličitijih kombinacija šljunkova, peskova i alevrita formirana je izdan zbijenog tipa u kojoj se nalaze drenovi vodozahvata. Vodonosnu sredinu predstavljaju sedimenti intergranularne poroznosti. Debljina izdanske zone se najčešće kreće od 20–25 m. Šematizacija slojeva data je u tabeli 1.

Na području istraživanja nalazi se ukupno 16 objekata za osmatranje nivoa podzemnih voda na kojima je sproveden monitoring nivoa podzemnih voda u periodu od 01.01.2011. do 13.11.2018. godine. Na slici 1 prikazani su uporedni nivogrami vodostaja reke Save i nivoa podzemnih voda u osmatračkim objektima za navedeni period.



**Slika 1.** Prikaz nivograma vodostaja Save i nivoa podzemnih voda u osmatračkim objektima na istražnom području (01.01.2011. – 13.11.2018. g.)

Usled periodičnog sprovođenja monitoringa režima podzemnih voda, prikazani rezultati ne odražavaju sve promene dinamičkog nivoa podzemnih voda koje se dešavaju na istražnom području, a koji su posledica uticaja reke Save i režima rada bunara RB-26 i RB-27. U dubljim delovima aluvijalne izdani režim podzemnih voda je osmatran na dva pijezometra (Ps 66-1 i Ps 72-10) u neposrednoj blizini horizontalnih drenova bunara RB-26 i RB-27. Filtarske konstrukcije pijezometara se nalaze na nivou radnih lepeza bunara i pod neposrednim su uticajem režima rada ovih bunara. Drugu grupu čine preostalih 14 osmatračkih objekata dubine 20 m koji se nalaze u priobalju reke Save. Nivoi podzemnih voda u ovoj grupi pijezometara pokazuju dobru usaglašenost sa oscilacijama vodostaja reke Save, a nivo podzemnih voda je uvek niži od vodostaja reke, što je posledica uticaja rada bunara sa horizontalnim drenovima. Oscilacije nivoa podzemnih voda u kontrolnom objektu K-5 posledica su neregistrovane individualne eksploatacije podzemnih voda u njegovoj blizini i odudaraju od trenda promena nivoa podzemnih voda u okolnim pijezometrima, kao i nivoa reke Save.

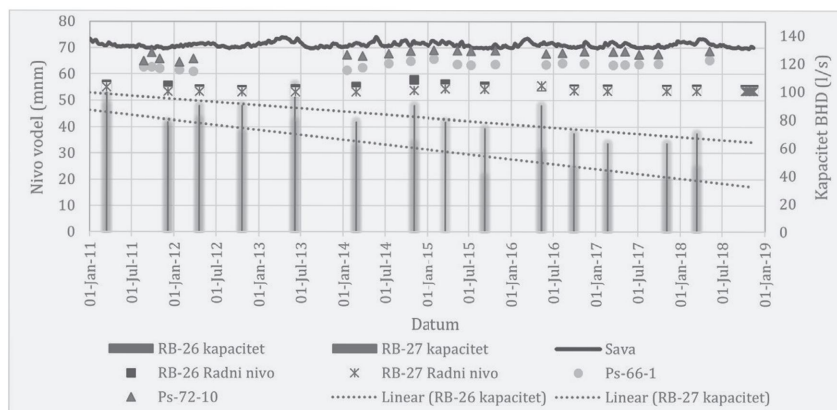
## METODOLOGIJA

Problem velikog vremenskog perioda između susednih merenih vrednosti unutar jedne vremenski zavisne serije se rešava brojnim metodama koje se odnose uglavnom na vremesku seriju koja se modelira (Guzman et al. 2017; Wunsch et al. 2018), i dr. Međutim, pitanje reprezentativnosti tako određenih vrednosti parametara uvek je prisutno. U cilju prevazilaženja navedenih neizvesnosti izvršena su eksperimentalna istraživanja koja su obuhvatila analizu i sintezu raspoloživih podataka osmatranja radnog nivoa i ukupnog proticaja bunara sa horizontalnim drenovima (bunari RB-26 i RB-27) i sprovođenje šematizacije nivograma radnih nivoa u bunarima i ukupnog hidrograma zahvatanja voda na ovim bunarima. Faze sprovođenja eksperimenta su bazirane na standardnoj proceduri izrade numeričkog modela i analize ulaznih podataka.

Analizirane su četiri alternative (scenarija) različitog šematizovanja nivograma i hidrograma rada bunara. Na formiranom modelu je potom izvršena zasebna kalibracija svake od alternativa. Zatim su rezultati kalibracije modela za sve četiri alternative upoređeni preko statističkih pokazatelja vezanih za nivoa podzemnih voda i preko greške u ukupnom bilansu podzemnih voda. Na kraju, je izvršeno kvantifikovanje smanjenja propusne moći drenova bunara preko koeficijenta filtracije prifiltarske zone drenova.

### Analiza hidrograma i nivograma

Na beogradskom izvorištu podzemnih voda praksa je da se merenja radnog nivoa vode u bunarima i njihovog ukupnog proticaja (ne na nivou pojedinačnog doticaja iz drenova) sprovodi dva puta godišnje, u okviru tzv. „prolećne“ i „jesenje“ kampanje merenja. Na slici 2 su predstavljeni izmereni radni nivoi vode u bunarima RB-26 i RB-27 i njihovi ukupni proticaji sa trendom promene proticaja, nivoi podzemnih voda u pratećim pijezometrima i vodostaji Save za period od 01.01.2011. – 13.11.2018. godine.



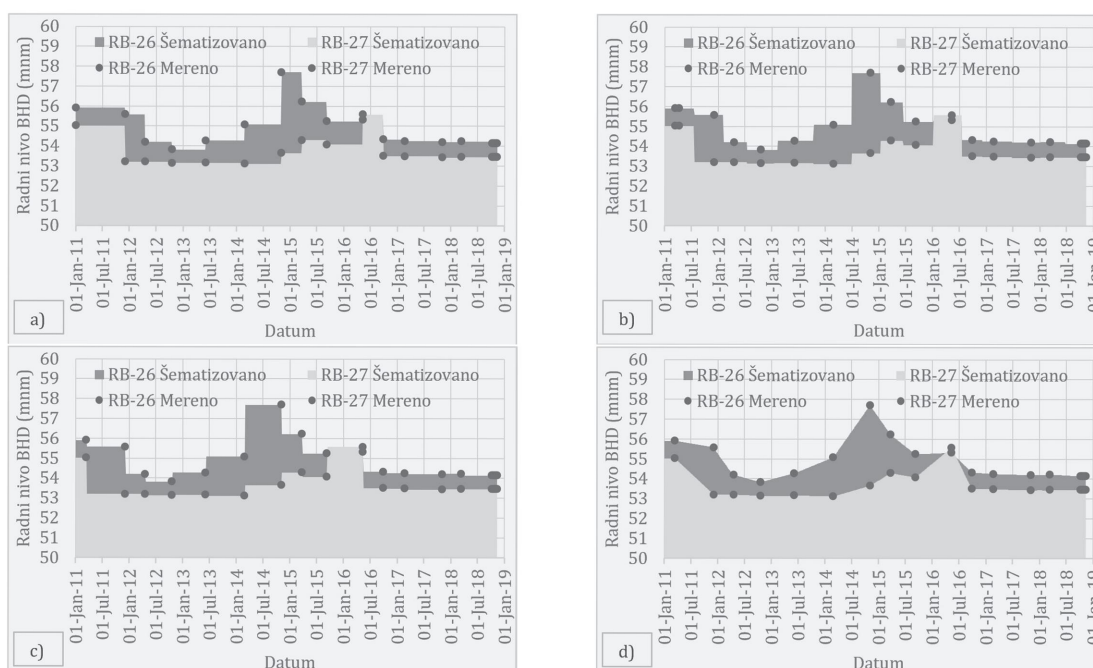
Slika 2. Prikaz vodostaja reke Save, radnog nivoa i ukupnog proticaja u bunarima RB-26 i RB-27 i nivoa podzemnih voda u pijezometrima Ps-66-1 i Ps-72-10 za period 01.01.2011. – 13.11.2018.

### Šematizacija hidrograma i nivograma - definisanje četiri alternative šematizacije

Kako se merenja radnog nivoa ne vrše kontinualno, za simulirani period od 2874 dana na modelu postoji mali broj podataka koji se odnosi na tačno vreme kada su izvršena merenja. Između dva reprezentativna merenja, nema informacija o promeni proticaja u bunarima koji je uslovljen režimom reke Save, promenama radnog nivoa vode u bunarima ili promenama propusne moći drenova. Kod izbora načina šematizacije nivograma i hidrograma bunara uzeti su u obzir vremenski preseki kada su izvršena merenja, učestalost merenja, odnosno vremenski razmak između dva uzastopna merenja, vrednosti (radnog) nivoa vode u bunaru i vrednosti njegovog proticaja. Izdvojena su tri načina šematizacije nivograma i hidrograma bunara:

- Alternativa 1 - merena vrednost nivoa i ukupnog proticaja se zadržava od trenutka merenja do narednog merenja nivoa i proticaja (zadavanje „udesno“) (slika 3a),
- Alternativa 2 – granica trajanja između dve vrednosti merenja predstavlja aritmetičku sredinu njihovih pozicija: pre granice se zadaje vrednost prethodnog merenja, a posle granice vrednost narednog merenja (slika 3b),
- Alternativa 3 – suprotno alternativni 1, merena vrednost (nivoa i proticaja) se zadaje u celom periodu od prethodnog merenja do narednog merenja (zadavanje „ulevo“) (slika 3c),
- Alternativa 4 - linearna interpolacija vrednosti proticaja između dve merene vrednosti (slika 3d).

Izdvojeni načini šematizacije, primenjeni su na nivogramima radnih nivoa bunara RB-26 i RB-27, kako je prikazano na slici 3. Takođe, svaki od ovih šematizovanih nivograma je kasnije simuliran na modelu.



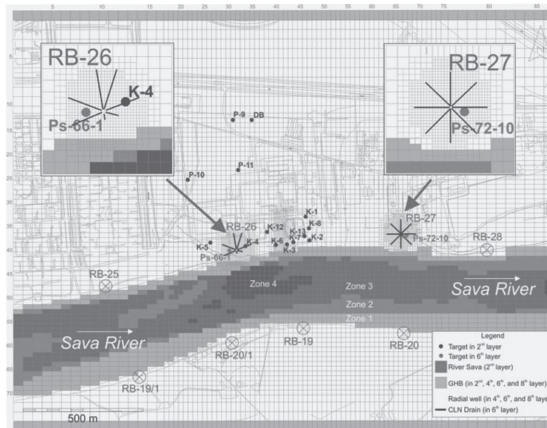
Slika 3. Šematizovani radni nivoi vode u bunarima RB-26 i RB-27: a) Alternativa 1; b) Alternativa 2; c) Alternativa 3; d) Alternativa 4



## Izrada hidrodinamičkog modela

Oblast obuhvaćena hidrodinamičkim modelom je šematizovana po jedinstvenom hidrogeološko – litostratigrafskom principu paralelizacije srodnih litofacija, stratigrafski i genetski jednovremeno stvaranih aluvijalnih sedimenata (Polomčić et al., 2018).

Dimenzije područja obuhvaćenog modelom su 2300 x 1650 m u planu (slika 4). Analizirani prostor je na modelu diskretizovan osnovnom mrežom kvadrata dimenzija 40 x 40 m u planu, koja je na području bunara RB-26 i RB-27 pogušćena na mrežu modelskih ćelija dimenzija 20 x 20 m. Dodatna diskretizacija je izvršena u zoni lepeza drenova bunara RB–26 i RB-27, koji su na modelu simulirani hidraulički realno zadavanjem drenova zadavanjem nestruktuirane pravougaone umetnute mreže dimenzija 5 x 5 m.



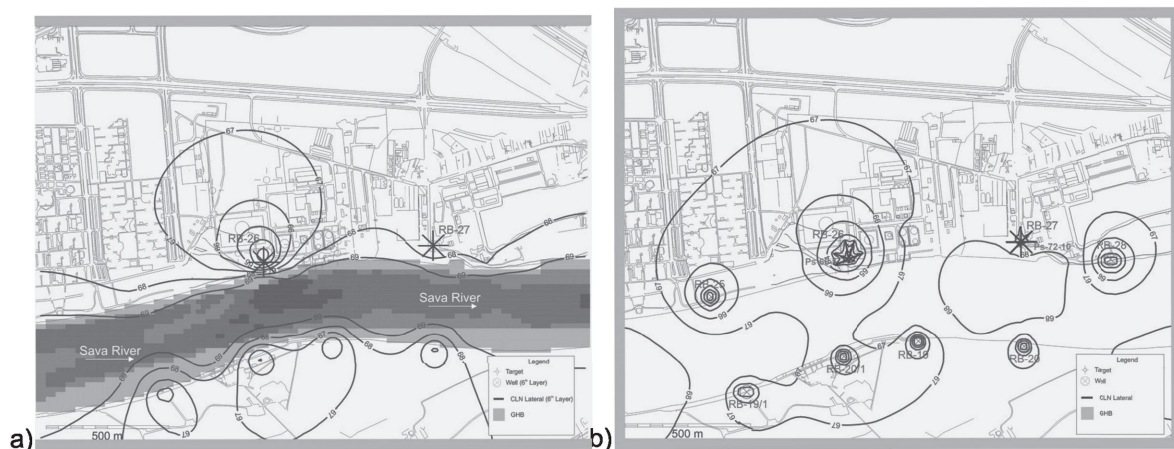
**Slika 4.** Diskretizacija područja obuhvaćenog modelom sa prikazom graničnih uslova zadatih u drugom modelskom sloju i detaljom diskretizacije za područje drenova na bunarima (u šestom modelskom sloju)

U skladu sa pozitivnom praksom izrade detaljnih hidrodinamičkih modela beogradskog izvorišta podzemnih voda (Božović Đ. et al. 2015, Polomčić et al. 2016), na modelu su zadati sledeći granični uslovi: „reka“, „opšti pijezometriarski nivo podzemnih voda“, „ekvivalentan bunar velikog prečnika“ i „bunar sa horizontalnim drenovima“ (slika 4).

## REZULTATI I DISKUSIJA

Etaloniranje modela je sprovedeno u nestacionarnim uslovima za navedeni period (01.01.2011. – 13.11.2018. g.), sa osnovnim vremenskim korakom od pet dana, što čini ukupno 576 vremenskih koraka.

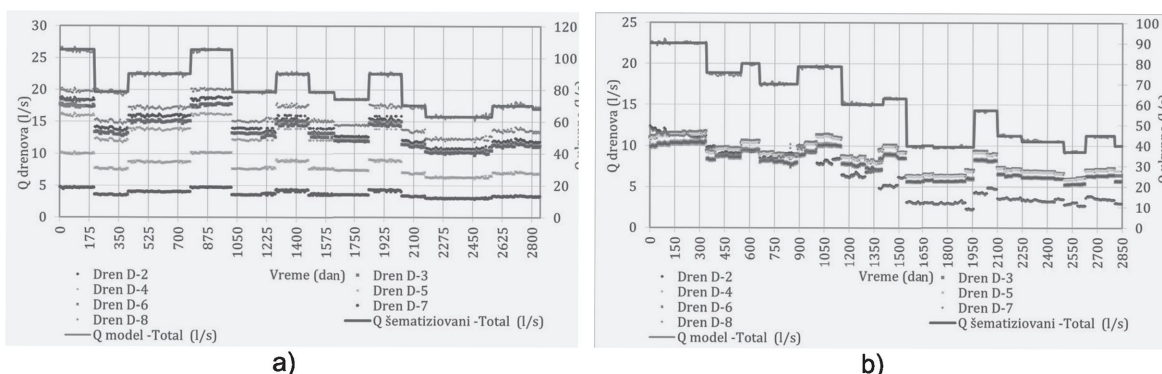
Na slici 5 su prikazane hidroizohipse u drugom i šestom modelskom (hidrodinamičkom) sloju kao rezultat etaloniranja modela (stanje na dan 13.11.2018. godine). Raspored hidroizohipsi je identičan za svaki način sprovedene šematizacije radnog nivoa vode u bunarima u prvom i poslednjem vremenskom koraku. Razlike se javljaju u vremenskim preseccima u kojima se ne poklapaju šematizovane vrednosti radnog nivoa koje se zadaju, odnosno ukupnog proticaja pojedinačnih bunara koji su rezultat proračuna.



**Slika 5.** Prikaz hidroizohipsi kao rezultat etaloniranja modela (stanje na dan 13.11.2018. godine): a) u drugom modelskom sloju; b) u šestom modelskom sloju

U analizi greške sprovedene kalibracije modela, analizirane su razlike u vrednostima nivoa podzemnih voda koji su mereni na osmatračkim objektima i proračunatih na modelu i izvršena je analiza greške u bilansu podzemnih voda. Statistički pokazatelji kvaliteta kalibracije pokazuju da sve alternative imaju niske vrednosti grešaka, ali se Alternativa 4 izdvaja kao rešenje sa najnižom vrednosti greške vezane za nivo podzemnih voda. Pored prikaza rezultata kalibracije modela vezanih za nivo podzemnih voda, drugi obavezan pokazatelj kvaliteta modela jeste greška u bilansu podzemnih voda. Razlike u greškama u bilansu su veoma male i javljaju se tek na trećoj ili četvrtoj decimali vrednosti greške. I u ovom slučaju treba naglasiti da Alternativa 4 pokazuje najbolje rezultate.

Za verifikaciju rezultata primenjene metodologije iskorišćeni su ukupni zadavani proticaji bunara po šematizovanim hidrogramima (za Alternativu 2) i sume izdašnosti pojedinačnih drenova koji su rezultat modelskih proračuna. Na slici 6 prikazani su izračunati (modelirani) hidrogrami za horizontalne drenove bunara RB-26 i ukupni proračunati (modelirani) i zadavani šematizovani hidrogrami ukupnih proticaja ovih bunara za alternative 2 i 4.

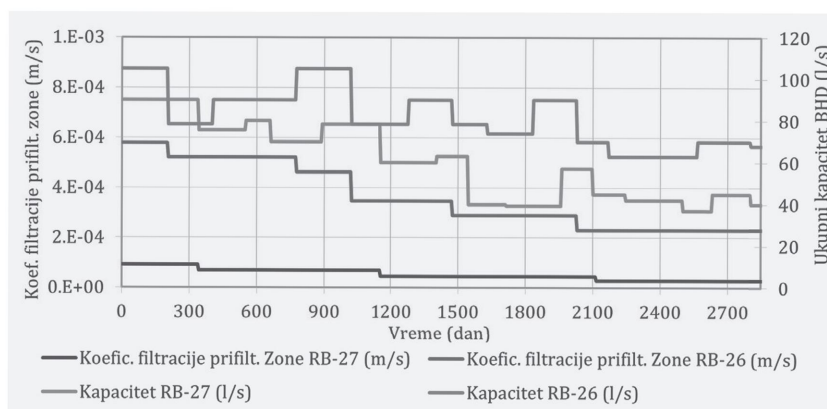


Slika 6. Hidrogram šematizovanih (i zadatih) ukupnih proticaja bunara, hidrogrami pojedinačnih drenova i hidrogram sume pojedinačnih drenova, BHD RB-26: a) alternativa 2; b) alternativa 4

Prikazani hidrogrami sume pojedinačnih izdašnosti drenova na bunarima RB-26 i RB-27 potvrđuju dobru usaglašenost modela sa dinamičkim režimom aluvijalne izdani i po pitanju bilansa, odnosno registrovanih i proračunatih količina vode. Srednja vrednost greške između sume proračunatih pojedinačnih izdašnosti drenova i (zadatog) šematizovanog hidrograma bunara RB-26 iznosi 0.0003%, dok kod bunara RB-27 iznosi 0.0004%.

### Kvantifikacija smanjenja propusne moći drenova bunara

Na beogradskom izvoristu podzemnih voda prisutno je izraženo opadanje kapaciteta bunara kao posledice procesa kolmatacije prifiltarske zone i otvora na drenovima, i korozije drenova. Obzirom na nedostatak egzaktnih podataka koji bi potvrdili učešće procesa kolmatacije i/ili korozije na drenovima analiziranih bunara, razmatrano je sumarno opadanje propusne moći drenova. Na slici 7 su prikazani šematizovani ukupni proticaji bunara RB-26 i RB-27 prema Alternativi 2 i promene vrednosti propusnosti drenova, koje su rezultat kalibracije modela.



Slika 7. Prikaz promene vrednosti propusnosti drenova na bunarima RB-26 i RB-27 i vrednosti šematizovanih hidrograma prema Alternativi 2.

Treba napomenuti, da su i u preostalim alternativama zadržane identične vrednosti propusnosti drenova kao i u prikazanoj alternativu 2, ali je njihovo zadavanje uslovljeno šematizovanim nivogramima radnih nivoa po ovim alternativama. Dakle, razlike između alternativa po ovom parametru su u dužini vremena trajanja i trenutku u kome se smanjuje vrednost propusnosti drenova.

Obzirom na odsustvo pijezometara pored svakog drena nije bilo omogućeno pojedinačno zadavanje vrednosti propusnosti prifilterske zone drenova. Zato su uzete identične vrednosti propusnosti za sve aktivne drenove jednog bunara. Interesantno je primetiti da se na bunaru RB-26 iako ima jedan dren manje u odnosu na bunar RB-27 i dva drena koji su znatno skraćeni (slika 4), ostvaruju veći ukupni proticaji.

## ZAKLJUČAK

Savremeni pristup kod analize eksploatacionog režima vodozahvatnih objekata podrazumevaju obezbeđenje kontinualnih podataka o vrednostima proticaja i (radnim) nivoima podzemnih voda. Kada to nije slučaj, potrebno je izvršiti šematizaciju hidrograma i nivograma, odnosno usvojiti vrednosti koje su konstante tokom perioda između dva merenja. Međutim, pitanje je koju vrednost usvojiti za taj period. U radu su analizirana četiri scenarija različitog šematizovanja radnog nivograma vode u bunaru i ukupnog hidrograma rada bunara.

Razvijena je metodologija istraživanja koja je podrazumevala izradu i kalibraciju numeričkog modela, simulaciju rada bunara po alternativama šematizovanog radnog nivoa vode u bunarima, ocenu izvedenih simulacija, rangiranje alternativa, verifikaciju modela sa najboljom alternativom preko sabiranja pojedinačnih modeliranih vrednosti izdašnosti horizontalnih drenova i ukupno šematizovanog hidrograma bunara. Na kraju je izvršeno kvantifikovanje procesa mehaničkog kolmiranja horizontalnih drenova preko hidrauličkog parametra koeficijenta propusnosti drenova.

Primenjena metodologija je ukazala da se kod nedostataka kontinualnog osmatranja nivoa voda u bunaru i ukupnog proticaja bunara sa horizontalnim drenovima, može primeniti najbolja (od razmatranih) šematizacija nivograma i hidrograma upotrebom Alternative 4 u kojoj se popunjavanje navedenih nedostajućih podataka obavlja primenom linerane interpolacije između dve merene vrednosti.

Doprinos razvijene metodologije ogleda se u njenoj primeni kod mnogobrojnih slučajeva kada nema podataka o kontinualnim merenjima: kod zadavanja brojnih graničnih uslova u nestacionarnim hidrodinamičkim modelima. Takođe, u hidrologiji se može primeniti kod šematizovanja proticaja i/ili vodostaja na rekama, intenziteta i sume padavina, isparavanja i dr.

## REFERENCE

- BOŽOVIĆ Đ., POLOMČIĆ D., BAJIĆ D. (2015). Hydrodynamic simulation and analysis of groundwater regime influenced by radial collector wells (case study: Belgrade's groundwater source) (in Serbian). *Tehnika*, 66 (5): 777-786. Belgrade, Serbia. DOI: 10.5937/tehnika1505777B
- GUZMAN, S.M., PAZ, J.O., TAGERT, M.L.M. (2017): The Use of NARX Neural Networks to Forecast Daily Groundwater Levels. *Water Resources Management*. 31, 1591–1603
- POLOMČIĆ, D., BOŽOVIĆ, Đ., BAJIĆ, D., 2016. Hydraulic characterization of laterals as applied to selected radial collector wells at Belgrade Groundwater Source. *Anales Geologiques de la Peninsule Balkanique* no. 77, pp. 33-42. DOI: 10.2298/GABP1677033P
- POLOMČIĆ, D., GLIGORIĆ, Z., BAJIĆ, D., CVIJOVIĆ, Č. (2018a): A Hybrid Model for Forecasting Groundwater Levels Based on Fuzzy C-Mean Clustering and Singular Spectrum Analysis. doi 10.3390/w9070541
- POLOMČIĆ D., RATKOVIĆ J., BAJIĆ D. (2018b): Idejni projekat revitalizacije bunara RB-17 utiskivanjem novih drenova - Elaborat o hidrogeološkim uslovima utiskivanja novih drenova na bunaru RB-17 beogradskog izvorišta podzemnih voda. Duna-Kut Kft, Mautin d.o.o., Infoservis
- YAN, Q., MA, C. (2016): Application of integrated ARIMA and RBF network for groundwater level forecasting. *Environmental Earth Sciences*. doi 10.1007/s12665-015-5198-5