

Геол. ан. Балк. пол. Ann. Géol. Penins. Balk.	59	2	441-455	Београд, децембар 1995 Belgrade, Decembre 1995
--	----	---	---------	---

УДК 553.332.46:556.332.2(497.11-15)

Оригинални иаучии рад

ДЕФИНИСАЊЕ РЕЖИМА ЕКСПЛОАТАЦИЈЕ БУНАРА ПОМОЋУ ХИДРОГЕОЛОШКОГ МОДЕЛА ИЗДАИИ

ОД

Михајла Симића^{*}, Михаила Миливојевића^{*},
Миће Мартиновића^{*}, Симеона Гаврилова^{**}, Владана
Коцића^{*}, Светозара Анкића^{*} и Петра Папића^{*}

У овом раду поред приказа и анализе резултата досадашњих истраживања, анализирају се услови експлоатације бунара ИЕБКос-1 за потребе рада олимпијског пливачког базена у Косјерићу.

Кључне речи: карст, режим експлоатације, зона истицања, хидрогеолошки модел.

УВОД

У подручју Косјерћа (сл. 1.) све до 1985. године нису извођена осивна хидрогеолошка па ни геолошка истраживања осим радова на изради осивне геолошке карте 1:100.000. Од радова на извођењу детаљних геолошких истраживања треба поменути: истраживање цементних лапораца, угљева, украсног камена, магнезита и др.

Од 1985. године започета су осивна хидрогеолошка и геотермална истраживања, која трају и данас. Досадашњи резултати су потврдили истраживачку хипотезу о постојању више акумулација квалитетних термалних вода које могу да се користе за водоснабдевање становништва, у спортско-рекреационе сврхе, топлификационе и пољопривредне сврхе (Simić, 1990).

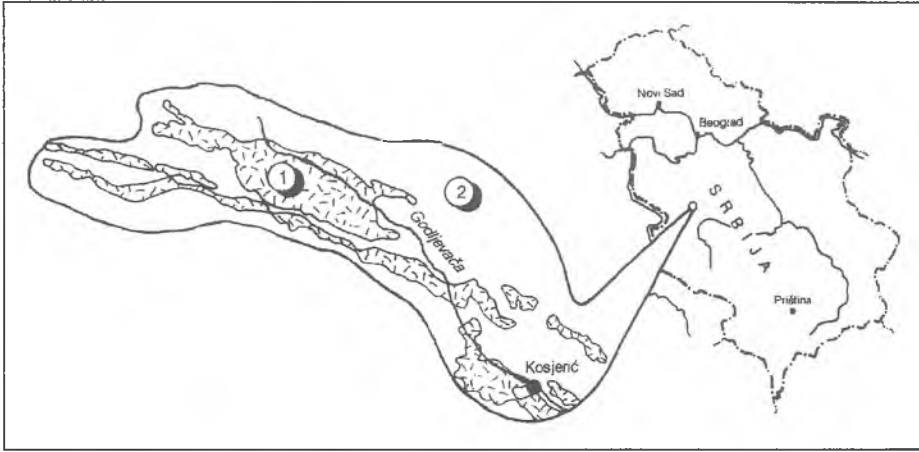
ВРСТЕ И ОБИМ ИЗВЕДЕНИХ ИСТРАЖНИХ РАДОВА

У периоду од 1985. године до данас изведени су следећи радови:

– Пројекат хидрогеолошких истраживања;

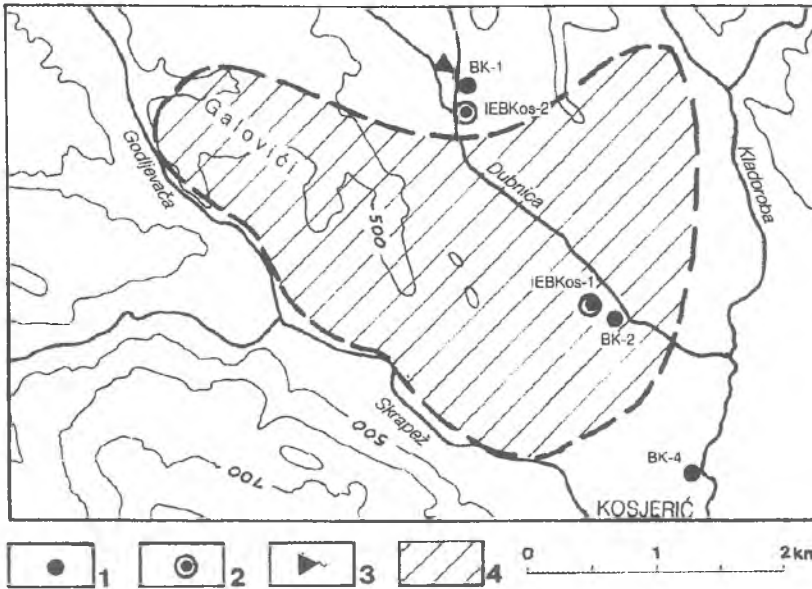
* Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду, Лабораторија за геотермалну енергију, Бушина 7, Београд.

** Фабрика цемента Косјерић.



Сл. 1. Подручје обухваћено хидрогеолошким истраживањима (слив реке Годљеваче). 1– карстни део слива, 2– некарстни део слива.

Fig. 1. Area covered by hydrogeological investigations (Godljevača River basin). 1. Karst area of the basin; 2. Non-karst area of the basin.



Сл. 2. Карта положаја истражних радова на подручју Косјерића. 1– истражне хидрогеолошке бушотине, 2– истражно–експлоатациони бунари, 3– термални извор, 4– просторно издање "Деспотовићи".

Fig. 2. Location map of exploration works in Kosjerić area. 1. Hydrogeological borehole; 2. Exploratory wells; 3. Thermal spring; 4. Despotovići aquifer area.

- Хидрогеолошко картирање терена површине око 20 km^2 (Ankić, 1990);
 - Геофизичка испитивања методом геоелектричног сондирања и геомагнетским методом;
 - Израда истражне бушотине БК–1, дубине 200 m, истражне бушотине БК–2, дубине 208 m и истражне бушотине БК–4 дубине 452 m;
 - Израда и тестирање истражно–експлоатационих бунара ИЕБКОс–1, дубине 367 m и ИЕБКОс–2, дубине 120 m;
 - Режимска осматрања протицаја, температуре и притиска на истражно–експлоатационим бунарима и дневна мерења количине падавина;
 - Хидрохемијска испитивања изданских и речних вода;
- На слици 2. приказане су локације изведених радова, а на сликама 3. и 4. карактеристични хидрогеолошки пресеци терена.

РЕЗУЛТАТИ ХИДРОГЕОЛОШКИХ ИСТРАЖИВАЊА

Пространство издани

Прве индикације о могућем присуству ове издани добијене су након интерпретације резултата геоелектричних испитивања и након хидрогеолошког картирања терена. Ту индикацију представљало је откриће хидрогеолошке баријере пизводно од извора "Бањица" на растојању од око 100 m. Хидрогеолошку индикацију присуства засебне издани представља појава сталног хладног карстног извора на десној страни Дубнице на коти 447 м.н.в. са издашношћу од 2–10 l/s. Извор се налази на контакту горњокредних кречњака и неогених седимената. Хипсометријска разлика овог извора и извора "Бањица" од 10 m на блиском растојању недвосмислено је указивала на присуство издани "Деспотовићи". Све ове индикације и претпоставке су касније доказане изградом истражне бушотине БК–2 и изградом и тестирањем истражно–експлоатационог бунара ИЕБКОс–1.

Пространство издани није тачно утврђено, али се процењује да је минимално 4 km^2 , од чега $0,8 \text{ km}^2$ треба да чини део издани са слободним нивоом, а $3,2 \text{ km}^2$ део издани са артеским и субартеским нивоом.

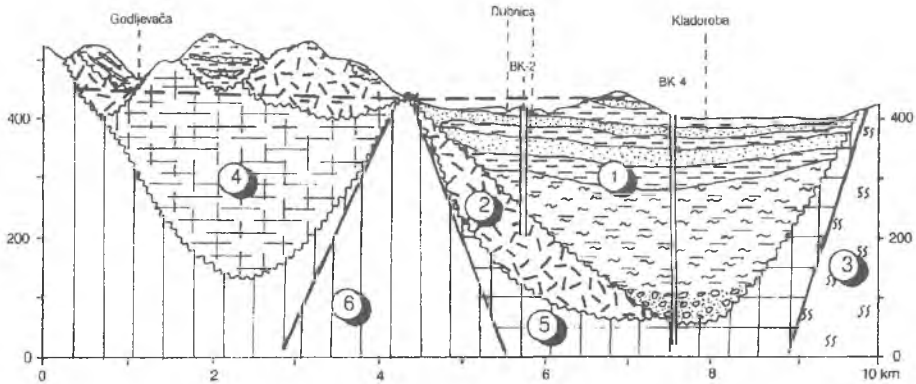
Дебљина издани утврђена је изградом бунара ИЕБКОс–1 и она износи најмање 217 m, тј. од 150–367 m дубине.

Пиезометарски ниво издани налази се изнад коте 447 м.н.в., тј. изнад коте поменутог сталног извора.

Слив издани

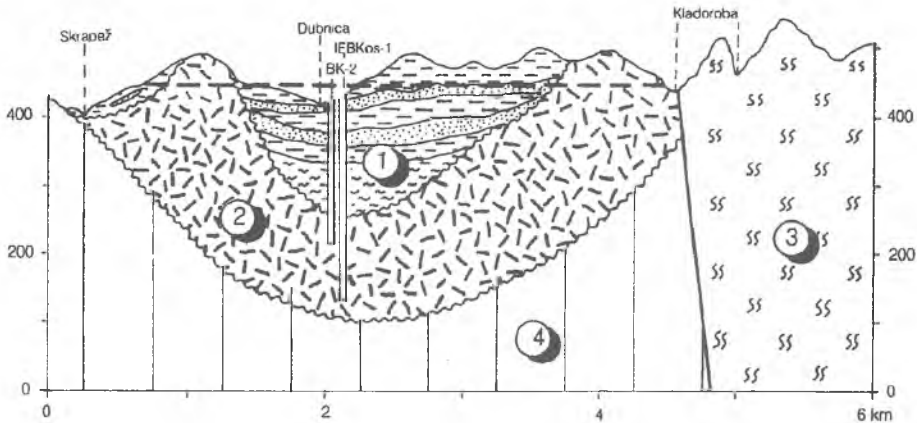
Слив карстне издани "Деспотовићи" једнак је пространству дела издани са слободном воденом површином и износи око $0,8 \text{ km}^2$.

На основу резултата наших истраживања и према геолошком саставу терена, извесне количине воде могле би да дотичу у издан само из реке Скрапеж изнад коте 450 м.н.в. тако да у случају да се докаже ова претпоставка, слив издани би требало увећати.



Сл. 3. Подужни хидрогеолошки пресек терена 1–лапори, пескови и глиновити лапори неогена (хидрогеолошки комплекс), 2–масивни и банковити кречњаџи креде (хидрогеолошки колектор), 3–серпентинити јуре (хидрогеолошки изолатор), 4–банковити и масивни кристаласти кречњаџи средњег тријаса (хидрогеолошки колектор), 5–палеозојски шкриљџи или кредни флиш? (хидрогеолошки изолатор), 6–палеозојски шкриљџи (хидрогеолошки изолатор).

Fig. 3. Hydrogeological cross-section. 1. Neogene marl, sand and clay marl (hydrogeological complex); 2. Cretaceous massive or thick-bedded limestone (aquifer); 3. Jurassic serpentinite (aquitard); 4. Middle Triassic thick-bedded or massive crystalline limestone (aquifer); 5. Paleozoic schist or Cretaceous flysch (aquitard); 6. Paleozoic schist (aquitard).



Сл. 4. Попречни хидрогеолошки профил. 1–лапори, пескови и глиновити лапори неогена (хидрогеолошки комплекс), 2–масивни и банковити кречњаџи креде (хидрогеолошки колектор), 3–серпентинити јуре (хидрогеолошки изолатор), 4–шкриљџи палеозојџика или кредни флиш? (хидрогеолошки изолатор).

Fig. 4. Hydrogeological cross-section. 1. Neogene marl, sand, and clay marl (hydrogeological complex); 2. Cretaceous massive or thick-bedded limestone (aquifer); 3. Jurassic serpentinite (aquitard); 4. Paleozoic schist or Cretaceous flysch (aquitard).

Прихрањивање издани

За сада је сигурно утврђено да се издаци "Деспотовићи" прихрањује само волом од падавина што падну на део колектора од кредних кречњака у коме се налази део издани са слободним нивоом пространства око 0,8 km². Поред тог пачића прихрањивања оно се, веома вероватно, врши и на претходно поменутом начину, тј. попирањем речних вода Скрапежа у количини од око 4–7 l/s. Понирање се врши на левој долињској страни клисуре Скрапежа где се горњокредни кречњаци налазе у речном кориту.

Постоје услови да се прихрањивање издани врши и понирањем падавина у деловима терена где је дебљина неогених наслага мања од 10 m.

Пражњење издани

Издаци "Деспотовићи" се у природним условима празни преко поменутог извора у засеоку Стајишићи на коти 447 м.н.в. на десној долињској страни Дубнице у количини од 2–10 l/s и дифузним истицањем у реку Кладоробу у зони где горњокредни кречњаци чине дно и обале речног корита. Коте ове зоне у долини Кладоробе су од 337–440 м.н.в. Количине издациких вода које истичу у кориту Кладоробе нису тачно познате.

Хидрогеолошки параметри издани

Хидрогеолошки параметри карстих издани "Деспотовићи" одређене су тестирањем бушотине БК–2 и истражно–експлоатационог бунара ИЕБКОс–1 при самоизливу и пробним црпењем.

У току бушења бушотине БК–2 испод неогених седимената на дубини од 151 m ушло се у карстну издан у горњокредним кречњацима. Бушење је завршено на дубини од 212 m због великог прилива изданиких вода. По завршетку бушења артечки притисак на "глави" бушотине износио је 1,6 bar–а. Количина самоизлива износила је 10 l/s.

У току бушења бунара ИЕБКОс–1 на дубини од 183 m дошло је до провале термалних вода у количини од 12 l/s. При дубини бунара од 300 m изведено је његово отварање при чему је дошло до самоизливања термалних вода у количини од 45–50 l/s са температуром од 20,6 °C.

Тестирањем бунара ИЕБКОс–1 при самоизливу и пробним црпењем добијене су следеће вредности:

Табела 1. Резултати тестирања бунара ИЕБКОс–1 пробним црпењем

Table 1. IEBKos-1 well pumping test results

Ознака објекта Intake structure	Број снижења Drawdown Number	Капацитет црпења Pumping capacity (l/s)	Снижење Drawdown (m)	Специфични капацитет Specific capacity (l/s/m')	Специфично снижење Specific drawdown (m'/l/s)
Бунар ИЕБКОс–1 Well IEBKos–1	1	25–19.5	23.08	0.95	1.05
	2	39.5–27	35.30	0.85	1.18
	3	32	40.74	0.79	1.27

После завршеног тестирања бупар је затворен и осматран је повраћај нивоа термалних вода на бунару ИЕБКос-1 и бупотији БК-2 до стања пре почетка израде бушотине БК-2, тј. до момента поновне појаве сталног извора "Станишићи" на коти 447 м.н.в.

На основу резултата тестирања бунара ИЕБКос-2 извршена је хидродинамичка анализа и добијене су вредности водопропусности у граицама $2,56-7,11 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (Simić i dr., 1994).

КВАЛИТЕТ ИЗДАНСКИХ ВОДА

У току извођења истраживања узимани су узорци и вршене комплетне хемијске анализе компоненти хемијског састава свих појава изданских вода и реке Г'одљеваче.

У издани развијеној у тријаским и кредним кречњацама констатована је вредност рН од 7,1-7,6, док у реци Г'одљевачи износи 8,0.

По катјонском саставу воде су калцијске и калцијско-магнезијске, а по анијонском саставу ове воде су хидрокарбонатне.

Минерализација вода обе издани је мала (испод 0,5 g/l).

Што се тиче гасног састава главни састојак је CO_2 и износи од 20-60 mg/l. Поред њега присутан је и O_2 у количини у просеку од око 5 mg/l.

Све испитиване воде по постојећим законским прописима испуњавају норме за пијаћу воду.

ПРЕЛИМИНАРНИ ХИДРОГЕОЛОШКИ МОДЕЛ КАРСТИЕ ИЗДАНИ "ДЕСПОТОВИЋИ"

Предмет хидродинамичког моделирања је само издан "Деспотовићи" која се у последње две године експлоатише за потребе пливачког базена у Косјерпћу.

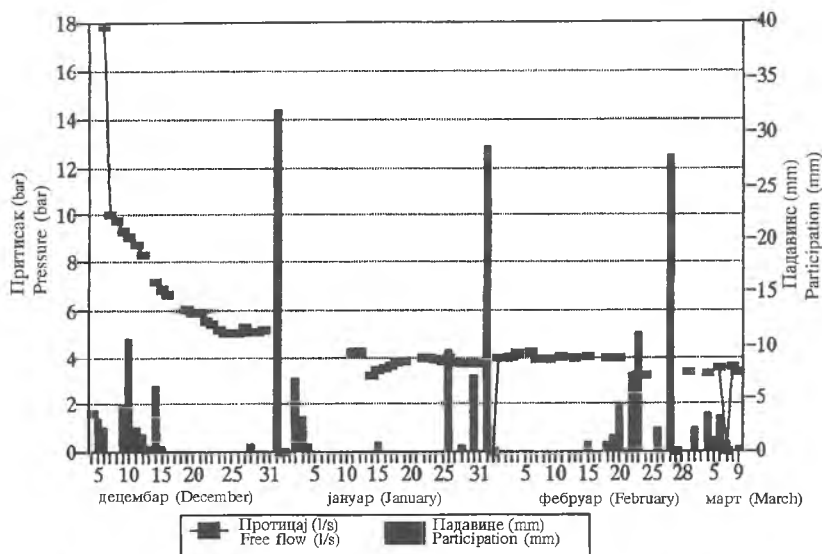
Основне поставке модела

Хидродинамички модел карстне издани "Деспотовићи" покрива површину од 4 km^2 . Северна, јужна, источна и део западне границе модела представљене су као водонепропусне ($T=0$, $Y=\text{const}$). Кроз део западне границе постоји одређени дотицај изданских вода променљиве количине која ће бити дефинисана хидродинамичким моделом (сл. 7).

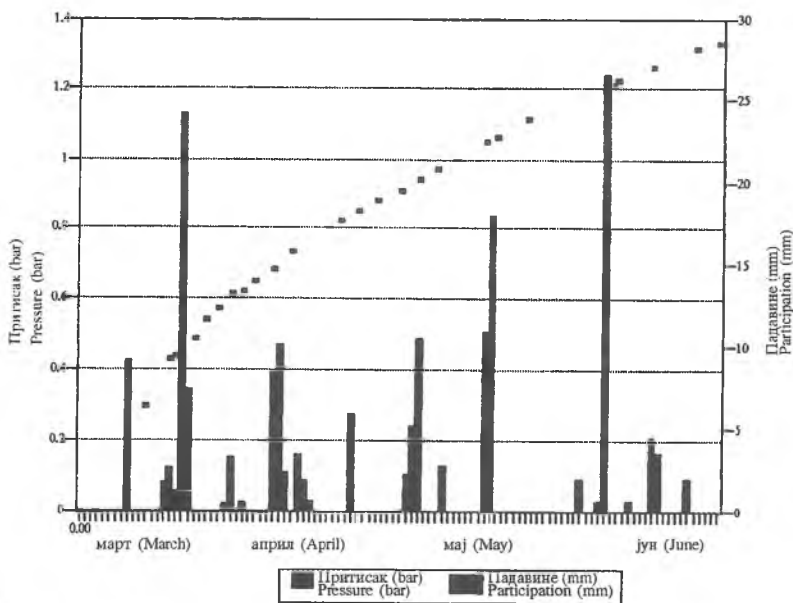
Падавинама је изложена површина математичког модела од $0,8 \text{ km}^2$ (сл. 5). Део падавина који се инфилтрира у издан процењена је на 20%.

Почетне вредности за водопроводност и специфичну издашност дефинисане су пробно-експлоатационим црпењима извршеним у периоду 1988-89. год.

Тарирање модела вршено је на основу података теста самоизлива и повраћаја пиезометарског нивоа на бунару ИЕБКос-1 за период 1992-93. год. (сл. 5. и 6.). Овај период је изабран јер ће експлоатација бунара ИЕБКос-1 за потребе пливачког базена бити самоизливом, тако да су подаци мерења из 1992-93. узети као репрезентативни за дати начин експлоатације.



Сл. 5. Мерења самоизлива и инфилтрације за период децембар–март 1991–1992.
 Fig. 5. Measurements of natural discharge and infiltration for period December–March 1991/92.



Сл. 6. Мерења артеског притиска (ИЕБКос-2) и падавина за период март–јун 1992.
 Fig. 6. Measurements of artesian pressure (IEBKos-2) and infiltration for period March–June 1992.

Биланс издани "Деспотовићи"

За потребе билансирања издани "Деспотовићи" и дефинисања улаза у издан инфилтрацијом падавина коришћени су подаци метеоролошке станице Косјерић за период 1946–1993. год. Посебно су анализиране падавине за период децембар–јун 1992–93. год. које уз исти период 1990–91 представљају најмање измерене падавине за последњих 50 година (Табела 2).

Табела 2. Месечне падавине за период децембар–јун 1992–93. (Метеоролошка станица Косјерић)
Table 2. Monthly precipitations for December–June 1992/93 (Meteorological station Kosjerić).

Месец (Month)	Падавине (Precipitation) (mm)	Дотицај у издан (l/s) (20% од падавина) Inflow to aquifer (l/s) (20% of precipitations)
Децембар (December)	32.0	1.91
Јануар (January)	28.7	1.71
Фебруар (February)	27.8	1.66
Март (March)	57.1	3.4
Април (April)	36.8	2.2
Мај (May)	49.5	2.96
Јун (June)	39.5	2.36
Просек (Average)	38.8	2.32

Анализом количина падавина и подземног дотицаја у издан са сигурношћу можемо тврдити да мерење количине самоизлива представљају педесетогодишњи минимум.

Самоизлив на самом бунару ИЕБКос–1 у датим условима износи 6,5 l/s и та је количина узета у обзир приликом израде математичког модела.

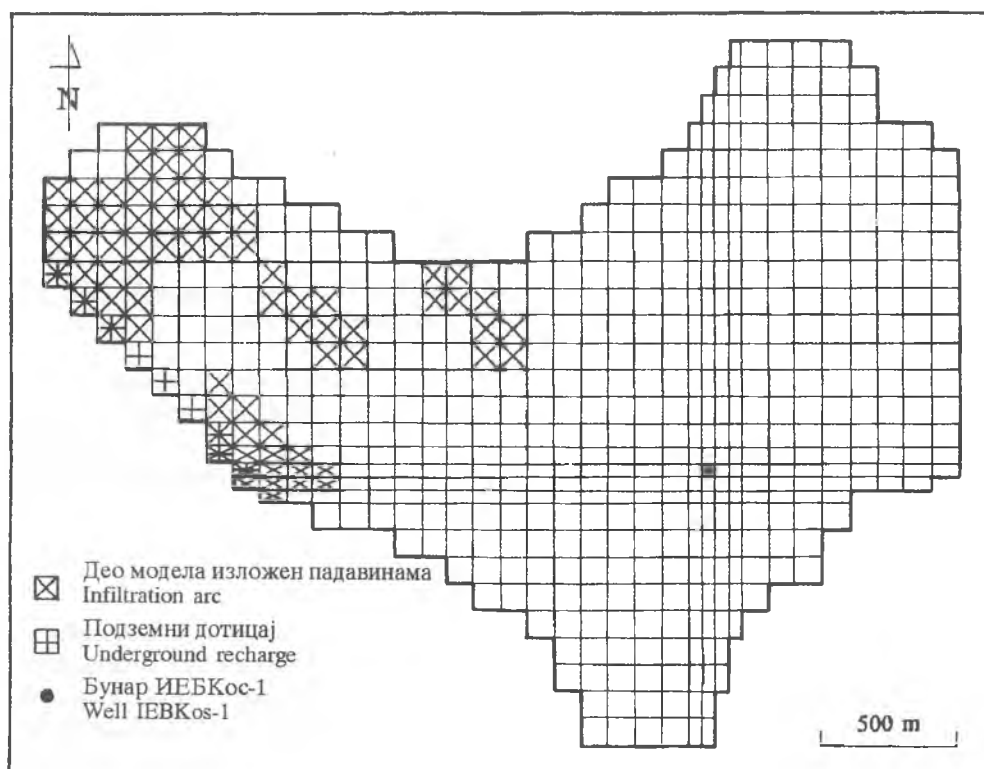
Резултати прорачуна

Вредности за водопроводност, специфичну издашност, количину инфилтрације од падавина као и подземни дотицај у издан добијене су након тарирања модела тј. усаглашавања измерених вредности пиезометарских нивоа и вредности добијених математичким моделом.

Истарирана вредност за водопроводност износи $4,2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ и јединствена је за цело подручје модела. Вредност специфичне издашности је 4×10^{-4} и карактеристична је за издани под притиском. Истарирана вредност специфичне издашности представља њену крајњу вредност за посматрани период и начин експлоатације. Уколико се експлоатационе количине повећају тј. угрљњом пумпе и црпењем бунара ИЕБКос-1, специфична издашност ће имати тренд пораста услед ефекта двојне порозности и закаселог прихрањивања.

Подземни дотицај добијен математичким моделом варира у зависности од оствареног снижења током експлоатације издани и достиже максималну вредност од 2.1 l/s на крају посматраног периода самонзлива.

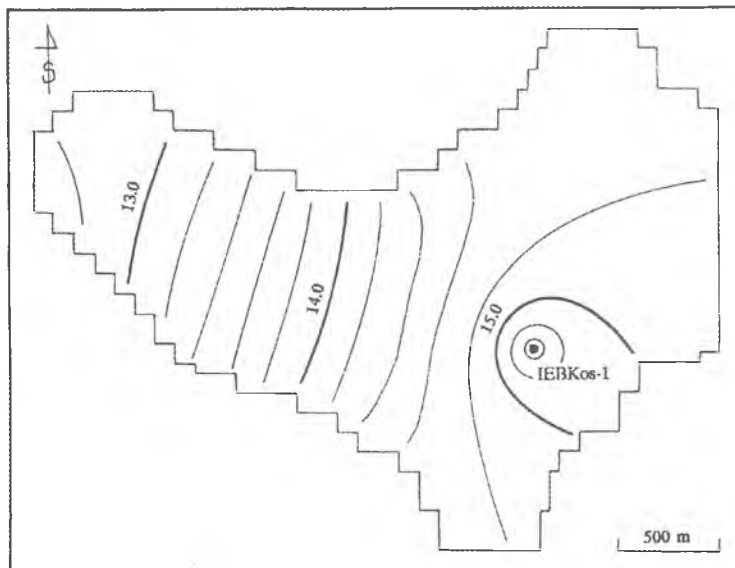
Количина падавина која се инфилтрира у издан је нешто мања од почетне вредности и износи 2,11 l/s, што указује да је инфилтрација мања од 20 %.



Сл. 7. Хидрогеолошки, математички модел издани "Деспотовићи"
Fig. 7. Hydrogeological, mathematical model of "Despotovići" aquifer

Истарирани модел је послужио за прогнозу ефеката експлоатације самонзливом у количини од 10 l/s, 12 часова дневно за период од 90 дана тј. период коришћења пливачког базена у Косјерићу.

Израчунато снижење на бунару ИЕВКос-1 износи 159 m, при чему и даље имамо артески притисак на "глави" бунара од 0,41 бар или 4,1 m воденог стуба (сл. 8).



Сл. 8. Изолиније снижења пиезометарског нивоа после периода експлоатације од 90 дана

Fig. 8. Isolines of drawdown for a period of 90 days.

Истражно-експлоатациони бунар ИЕВКос-1, својом конструкцијом, омогућава уградњу дубинске пумпе и остваривање већих депресија при чему би могло да се црпи 20 l/s. Додатне количине изданских вода добиле би се на рачун прањњења саме издани "Деспотовићи" као и индицираног подземног дотицаја из суседних карстних издани и претакања из плићих хоризоната.

ЗАКЉУЧАК

Резултати израде хидрогеолошког модела карстне издани "Деспотовићи" оправдавају његову примену у циљу дефинисања будућег режима експлоатације. На истарпаном моделу, који симулира понашање карстне пздани у природи, могуће је дефинисање различитих режима експлоатације и одређивање будућих снижења у експлоатационим објектима, као и пнезометарских нивоа у издани а самим тим и пројектовање адекватних водозахватних објеката у циљу захватања изданских вода.

Геол. ан. Балк. пол. Ann. Géol. Penins. Balk.	59	2	441-455	Београд, децембар 1995 Belgrade, Decembre 1995
--	----	---	---------	---

UDC 553.332.46:556.332.2(497.11-15)

Original scientific paper

DEFINING WELL PUMPING REGIME USING HYDROGEOLOGICAL MODEL OF AQUIFER

by

Mihajlo Simić*, Mihailo Milivojević*, Mića Martinović*, Simeon
Gavrilov**, Vladan Kocić*, Svetozar Ankić*, and Petar Papić*

This work gives the background information about earlier investigations and their results and analyses production conditions for well I E B Kos-1 which supplies water to the olympic swimming pool in Kosjerić.

Key words: karst, withdrawal regime, discharge area, hydrogeological model.

INTRODUCTION

Kosjerić area (Fig. 1) was not prospected for hydrogeology or even geology until 1985, except for the base geological map on scale 1:100,000. Of detailed geological investigations, those for marlstone, coal, decorative stone, magnesite, etc. should be mentioned.

Basic hydrogeological and geothermal explorations have been carried out from 1985. The results so far confirmed the explorers hypothesis on a number of good-quality thermal water reservoirs that can be used in supply to houses, sport and recreation facilities, for heating homes and in agriculture (Simić, 1990).

TYPE AND VOLUME OF INVESTIGATION ACTIVITIES

The activities from 1985 to the present day are the following:

- Hydrogeological investigation design;

* Univeristy of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Laboratory of Geothermal Energy, Džušina 7, Belgrade.

** Cement factory, Kosjerić.

- Hydrogeological mapping of about 20 km² (Ankić, 1990);
- Geophysical prospecting by geoelectrical sounding and geomagnetic methods;
- Drilling holes BK-1, BK-2 and BK-4 to respective depths of 200 m, 208 m, and 452 m;
- Drilling and testing exploratory–production wells IEBKos-1 and IEBKos-2, 367 m and 120 m deep respectively;
- Observation of discharge, temperature, pressure at the exploratory–production wells and daily measurement of precipitation depth;
- Hydrochemical analysis of ground and river waters.

Figure 2 shows locations of the above sites, and Figures 3 and 4 characteristic hydrogeological sections.

HYDROGEOLOGICAL INVESTIGATION RESULTS

Aquifer extent

Interpretation of geoelectrical prospecting data and hydrogeological field mapping gave first indications of the possible presence of an aquifer. It was the identification of a hydrogeological barrier some 100 metres downstream of the Banjica spring. The occurrence of a constant cold karst spring, of 2–10 l/s flow rate, on the right side of the Dubnica, altitude 447 m, was an indication of the aquifer. The spring is located at the contact of Upper Cretaceous limestones and Neogene sediments. The hypsometric difference of 10 m between this and Banjica springs at a short distance was a certain indication of the presence of Despotovići aquifer. Each indication and the assumptions were later corroborated by exploratory hole BK-2 and testing exploratory–production well IEBKos-1.

The extent of the aquifer has been only estimated under an area of no less than 4 km², of which 0.8 km² unconfined and 3.2 km² confined (artesian and subartesian).

Its thickness established by drilling well I E B Kos-1 is minimum 217 m in the depth between 150 m and 367 m.

The piezometric level is above the altitude 447 m of the mentioned constant spring.

Aquifer drainage area

The catchment area of the Despotovići karst aquifer is equal to the extent of the watertable aquifer, about 0.8 km².

As indicated by our investigation results and the local geology, some water may be inflowing only from the Skrapež River above the altitude of 450 m; if so, the catchment area is somewhat larger.

Ground water recharge

It has been proved that Despotovići aquifer is recharged only by precipitations over the part of the catchment area of about 0.8 km² composed of Cretaceous limestones

which contain the water-table aquifer. It is probably also recharged by percolation from the Skrapež River, at a rate of 4–7 l/s. The percolation takes place on the left valley side of the Skrapež canyon where Upper Cretaceous limestones form the river bed.

Another source of recharge may be infiltration of rains where Neogene deposits are 10 metres thick or less.

Ground water drainage

The Despotovići aquifer is naturally draining through the mentioned spring in Stanišići hamlet at the altitude of 447 m, on the right side of the Dubnica valley, at a rate of 2–10 l/s, and by effluent seepage into the Kladoroba River where Upper Cretaceous limestones build up the river channel. Altitudes of this seepage zone in the Kladoroba valley are within the range 337–440 m. The amounts of seepage are not known.

Hydrogeological parameters

The hydrogeological parameters of the Despotovići aquifer were determined at hole BK-2 and well IEBKos-1 for natural outflow and by pumping tests.

Borehole BK-2 penetrated Neogene sediments and at 151 m entered Upper Cretaceous aquiferous limestones. The drilling ended at the depth of 212 m, because inflow of water was high. Artesian pressure at wellhead, after the drilling, was 1.6 bars. The natural outflow was 10 l/s.

Well IEBKos-1 entered thermal aquifer at the depth of 183 m, where the natural discharge was 121/s. At 300 m, the reservoir opened and the discharge amounted to 45–50 l/s; water temperature was 20.6 °C.

The outflow and pumping discharge rates for IEBKos-1 were the following:

Upon the test completion, the well was closed and the thermal water recovery was observed at I E B Kos-1 and BK-2 to the level before BK-2 was drilled, i.e. to the recovery of the Stanišići constant springflow at al. 447 m.

The IEBKos-2 pumping test results were used in a hydrodynamic analysis, which gave permeability values between 2.56 and $7.11 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (Simić et al., 1994).

GROUND WATER QUALITY

Samples of ground water were taken from all occurrences and from the Godljevača River for chemical analysis.

The pH value of ground water in Triassic and Cretaceous limestone was 7.1 to 7.6, and of river water 8.0.

The analysed waters are calcium or calcium–magnesium in cationic and hydrocarbonate in anionic compositions.

Mineralization rate of water is low (0.5 g/l or lower).

Principal gaseous constituent is CO₂ amounting to 20–60 mg/l, and O₂ is contained by about 5 mg/l on average.

All analysed waters are drinkable by the respective legal standards.

PRELIMINARY HYDROGEOLOGICAL MODEL OF DESPOTOVIĆI KARST AQUIFER

Only Despotovići aquifer, abstracted in the last two years for use in a swimming pool at Kosjerić, was modeled.

Model principles

The hydrodynamic model of Despotovići aquifer covers an area of 4 km². Its northern, southern, eastern, and a part of western limits are represented as impermeable ($T=0$, $\varphi=\text{const.}$). A part of the western boundary is permitting a variable ground water flow which will be defined by the hydrodynamic model (Fig. 7).

The surface area of the mathematical model exposed to rainfalls is 0.8 km² (Fig. 5). The amount of precipitations infiltrating under ground is estimated at 20%.

Initial values for permeability and specific storage are defined on test-production pumpings of 1988/89.

For model calibration, natural outflow and piezometric level recovery data were used from IEBKos-1 for period 1992/93 (Figs. 5 and 6). This period was selected because well IEBKos-1 natural flow is to be used for the swimming pool; thus, the flows measured in 1992/93 were taken as representative.

Mass Balance of Despotovići Reservoir

For Despotovići ground water accounting and defining inflow from rainfall infiltration, records were used from Kosjerić meteorological station for period 1946–1993. Precipitations are particularly considered for December–June 1992/93 which, also in the same period of 1990/91, were the lowest measured in the last fifty years (Tab.2).

The amounts of precipitation and subsurface inflow to the aquifer permit the statement that the measured natural discharges were the 50-year minimal.

Natural flow from well IEBKos-1 under the given conditions is 6.5 l/s, the rate used in the mathematical model.

Accounting Results

The values for permeability, specific storage, amount of infiltration, and subsurface inflow were obtained from the calibrated model, i.e. measured piezometric levels and values on the mathematical model were matched.

Calibrated value for permeability is 4.2×10^{-3} m²/s and is uniform for the whole model area. Specific storage is 4×10^{-4} characteristic of confined aquifers. The calculated specific storage is its finite value for the observation period and the abstraction method. Should the abstraction increased by pumping well IEBKos-1, specific storage would have an increasing trend as a result of double porosity and retarded recharge effect.

Subsurface inflow, obtained on the mathematical model, varies depending on draw-down during the abstraction and reaches the maximum value of 2.1 l/s by the end of the observed natural flow period.

The amount of precipitation infiltrating into the aquifer is slightly lower, 2.11 l/s, than the initial value, or less than 20%.

The calibrated model served to predict the effects of water withdrawal by natural discharge at the rate of 10 l/s, 12 hours a day for a period of 90 days, that is the period when the swimming pool in Kosjerić is open for use.

The calculated drawdown at well IEBKos-1 is 15.9 m, with continuous artesian pressure at wellhead of 0.41 bar or 4.1 m of water column (Fig. 8).

The exploratory-production well IEBKos-1 allows installation of a deep-seated pump for an abstraction rate of 20 l/s and consequent larger depression cone. Additional amount of ground water would be at the account of the Despotovići reservoir itself and the indicated subsurface inflow from adjoining karst aquifers and shallow horizons.

CONCLUSION

Results of the hydrogeological model of Despotovići karst aquifer justify its use in planning the future withdrawal. The calibrated model, which simulates natural behaviour of the karst aquifer can be used to plan different withdrawal schedules, and to estimate future drawdowns at each well and piezometric level variations in the aquifer; and thereby to design adequate water-intake structures.

ЛИТЕРАТУРА – REFERENCES

- Simić M., 1990: Višenamensko korišćenje voda karstnih izdani u području Valjevsko-mioničkog karsta.– Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, 437 str., 260 sl., 169 tab., Beograd.
- Ankić S., 1990: Hidrogeološke karakteristike šire okoline Kosjerića, sa posebnim osvrtom na uslove višenamenskog korišćenja karstnih izdanih voda. – Diplomski rad, Fond stručne dokumentacije Instituta za hidrogeologiju, Rudarsko-geološkog Fakulteta, 63 str., Beograd.
- Simić M., Milivojević M. Papić P., Martinović M., Ankić S and Gavrilov S., 1994.: Elaborat o rezultatima hidrogeoloških i hidrogeotermalnih istraživanja u Kosjeriću.– Institut za hidrogeologiju, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.