

Оригинални научни рад

## ХИПСОМЕТРИЈСКИ ПОЛОЖАЈ И ИЗДАШНОСТ ИЗДАНИ ПОД ПРТИСКОМ У СМЕДЕРЕВСКОМ ПОДУНАВЉУ

Слободан Миладиновић\*<sup>1</sup>, Стево Јаћимовски\*, Далибор Кекић\*

\* Криминалистичко-полицијска академија, Београд

**Извод:** У раду су обрађене карактеристике дубоке издани Смедеревског Подунавља које припадају моравској хидрогеолошкој области. Хидрогеолошки комплекс Смедеревског Подунавља развијен је у седиментима неогене старости. Запажено је наизменично смењивање хидрогеолошких колектора, састављених од песковитих и шљунковитих седимената и хидрогеолошких изолатора који чине глиновите творевине. Анализом досадашњих геолошких истраживања, геофизичких испитивања и бушења за потребе водоснабдевања покушали смо да представимо просторни положај колектора и збијених издани формираних у њима. Из приказа положаја колектора и издашности дубоке издани проистиче и оцена могућности коришћења воде под притиском. Издан под притиском је субартеског и артеског карактера са нивоом подземних вода од +0,6 до - 90 m. Експлоатациона издашност објеката се креће и преко 5 l/s. Хемијске анализе подземних вода из понтијских водоносних пескова по Алекину припадају хидрокарбонатно-земноалкалним типовима воде, чија минерализација се креће око 0,5 g/l што значи да су умерено тврде и могу да се користе за пиће. Воде панонских слојева припадају меким водама, а у дубљим деловима постоји могућност повишене минерализације.

**Кључне речи:** Смедеревско Подунавље, артеска издан, издашност

*Предат:* 15. фебруар 2015; *прихваћен:* 17. новембар 2015.

### Увод

Смедеревско Подунавље се налази између Дунава на северу, Велике Мораве на истоку и Шумадијских брда на југу и западу, односно у оквиру крајњег северног дела Поморавља и североисточног дела шумадијског побрђа. Морфоструктурно посматрано површина припада доњем делу великоморавске удолине, при чему источна половина залази у долинску раван Велике Мораве, док су у западној половини сливови Раље и Коњске реке усечени у површи висине 200 до 300 m апсолутне висине. Хидрографски, простор нај-

---

<sup>1</sup> Контакт адреса: slobodan.miladinovic@kpa.edu.rs

већим делом (око 90% површине) припада сливу Велике Мораве, док су мањи делови на северу усмерени ка непосредном сливу Дунава (Миладиновић, 2013). Простор који обрађује овај рад био је предмет бројних геоморфолошких истраживања у оквиру ширих области Шумадије и Поморавља. Р. Лазаревић је кроз више радова детаљно обрадио рељеф сливова Раље, Коњске реке и Језаве и непосредног слива Дунава од Гроцке до Смедерева<sup>23</sup>. Посебан значај наведених радова је у издвајању површина угрожених клижењем земљишта. Клизишта код Смедерева помиње и П. С. Јовановић<sup>4</sup>. У геоморфолошким радовима који обрађују ширу околину Београда Ж. Јовичић анализира карактеристике и еволуцију облика у лесним заравнима код Смедерева (1954). Регионална географска студија о Великој и Јужној Морави обрађује геоморфолошка, хидрографска и хидрогеолошка својства великоморавске долине (Јовановић, 1969; Зеремски, 1969). Топографске одлике земљишта и геолошке основе општине Смедерево анализирани су и оцењене са аспекта планирања развоја и коришћења геопростора у монографској студији Географског института „Јован Цвијић“ САНУ 1992. године.

У геотектонском погледу ово подручје припада већој моравско-банатској басенској структурној јединици која обухвата седimente средњег и горњег миоцена и доњег плиоцена (са благим падовима, до 5° у правцу ССЗ, према Банатској депресији) и дунавској постбасенској структурној јединици која обухвата најмлађе плеистоценске и холоценске еолске, флувијалне и падинске седimente хоризонталног или благо нагнутог простирања сагласно палеорељефу (Група аутора, 1992). Основно структурно обележје чине регионални лонгитудинални неотектонски активни разломи правца ССЗ-ЈЈИ. Најстарији и највећи структурни облици су меридијанског правца пружања, а представљени су позитивним морфоструктурама Пожаревачке греде на истоку и Голобочко - крњевачке греде на западу, између којих се налази ров Велике Мораве (Марковић, 1988).

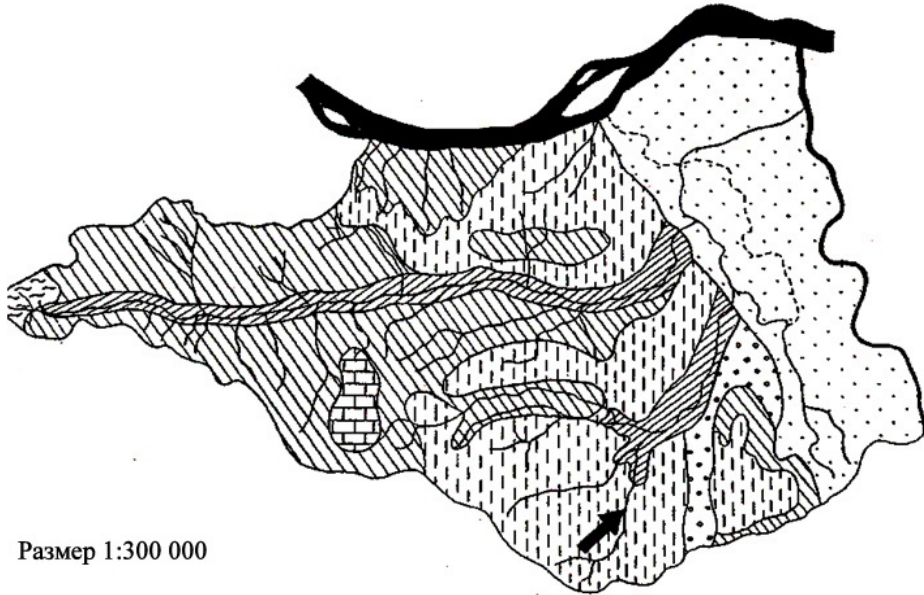
Анализом морфометријских карактеристика рељефа уочена је јасна подељеност територије на нижи део, који чини долиноско дно Велике Мораве, Раље и доњи део долине Коњске реке (са просечном висином 85 m и нагибом од 0,5%), затим простор Петријевске и Врбовачке површи, просечне висине 151,9-169,2 m са нагибом од 8,4-11° и изворишни део Раље и Коњске реке висине 170-182 m и нагибом од 18-22°.

---









<sup>2</sup>Лазаревић, Р. (1957). Рељеф непосредног слива Дунава између Гроцке и Смедерева. *Зборник радова Географског института САНУ*, 13, 165-190.

<sup>3</sup>Лазаревић, Р. (1957). Слив Језаве, Раље и Коњске реке. *Зборник радова Географског института САНУ*, 13, 95-163.

<sup>4</sup>Јовановић, С. П. (1951). Осврт на Цвијићево схватање о абразионом карактеру рељефа по ободу Панонског басена. *Зборник радова Географског института САНУ*, 1, 1-23.



Размер 1:300 000

-  пескови и шљункови - песковити, дебљине 10-20 м са полупропусном до непропусном повлатом дебљине 10-20м
-  шљункови - песковити и пескови - шљунковити дебљине 3м
-  лес и песковити лес локално са прослојцима песка дебљине 10 - 30 м, филтрационе одлике изразито анизотропне
-  шљункови, пескови и глинне језерских и речних тераса дебљина водосника 5-10 м изузетно већа
-  пескови - ситнозрни и средњезрни са бочним прелазима у заглипене пескове, дебљине 5-10м; смењују се са алевритима, глинама и лапорима водоносни слојеви на дубинама до 150м
-  кречњаци, песковити и лапоровити кречњаци, доломити и доломитични кречњаци, кречњачке брече и конгломерати, мермери врло ретко, пешчари и др. формирају издани у различито израженим пукотинским системима; издани се празне преко извора до 10л/с
-  глинне глинне - лапоровите - песковите, глинне лапоровите, лапорици, глиници, подређено слабо везани прешчари и кречњаци
-  генерални правац кретања подземних вода

Слика 1. – Хидрогеолошка карта Смедеревског Подунавља према Водопривредној основи Србије (2001)

Осим ове поделе, одређену морфометријску специфичност представља десна долинска страна Дунава и сливови десних притока Раје где је изражена већа дисецираност и посебни геолошки и хидролошки услови који су омогућили интензивније гравитационо кретање земљишта, површинско спирање и усецање јаруга и мањих бујичних водотока. У истраживаном подручју могу се издвојити четири основне предеоне целине. Источни део је

представљен долином Велике Мораве, а на заталасаном простору централног и западног дела су остале три целине: десна долињска страна Дунава, затим долине левих притока Велике Мораве (Раље и Коњске реке) и заравњена развођа између њих.

### **Задаци и методе истраживања**

Основни задатак је, како је то наведено у наслову рада, анализом доступне литературе и теренским радом формирати базу података која може у виду основног документа да се користи за упознавање са геолошким и хидрогеолошким елементима битним за настанак вода дубоке издани Смедеревског Подунавља, и садашњим и потенцијалним коришћењем оваквих ресурса. Анализом великог броја дубоких бушотина, кроз приказ геолошке грађе, хидрогеолошких параметара водоносне средине, распрострањености, услова прихрањивања и обнављања, процењена су квалитативна својства у степену који омогућава њихово коришћење у сврху водоснабдевања. На основу истражног и експлоатационог црпљења дубоких бунара и бушотина изнети су основни подаци о количини, квалитету и режиму подземних вода издани под притиском. Истражно-експлоатациони водозахвати класификовани су према геоморфолошким карактеристикама терена. Наглашене су и могућности обнављања експлоатационих резерви и степен везаности у алувијално-делувијалним срединама, односно карактер (контакта) вода суседних водоносних средина, као што су фреатска издан и површински токови. За решавање постављених задатака коришћене су различите методе.

Сваком озбиљном истраживању претходи потпуно упознавање са важним подацима који су неопходни за дефинисање коначног циља истраживања. Почетна метода која је коришћена у раду је дескриптивна статистика којом су сумирани подаци о дубоким бушотинама, геолошком саставу, хидрогеолошким колекторима и изолаторима. Заједно са квантитавним приказом коришћени су и графички прикази. Обрадом наведених података применом методе анализе, на основу постојећих геолошких и хидрогеолошких елемената, добијени су подаци о хидрогеолошким објектима које је могуће каптирати за потребе водоснабдевања. Методом регионалне анализе упоређивани су хидрогеолошки подаци у долинама речних токова и на развођима, односно међусобни однос геолошке грађе и морфологије, који су нам помогли да дођемо до закључака о дубини и издашности дубоких издани. Примењена је и метода корелацијске анализе нарочито код панонских и понтијских седимената, где је анализирана веза између моћности и гранулометријског састава, вододрживог песковитог слоја, глина као хидрогеолошког изолатора и издашности. Синтезом је кроз приказ издвојених територијалних целина и истицање функционалне везе између геолошког састава и хипсометријских карактеристика створена могућност да се

истраживање сагледа у целини. Статистичким приказом и табеларном илустрацијом заокружени су подаци обухваћени истраживањем. У раду је примењен и теренски рад, преглед и рекогносцирање терена читавог подручја, детекција карактеристичних морфолошких и доступних геолошких и хидрогеолошких елемената релевантних за истраживање.

### **Хидрогеолошке одлике**

Смедеревско Подунавље припада Ниској Шумадији која је прекривена растреситим седиментима неогена и алувијалним наслагама у долинама река. Пескови, односно песковити хоризонти су главни колектори подземних вода (Коматина и Џаковић, 1975). Седименти неогена сталожени су у басенима и распрострањени на читавом простору. Панон је најзаступљенији у неогеној серији, а представљен је комплексом песковитих и глиновитих седимената који се вертикално и бочно укрштају (Завод за геолошка и геофизичка истраживања [ЗГГИ], 1972). Творевине понта знатно су распрострањене у Смедеревском Подунављу. По свом литолошком саставу доста се разликују од панонског. Представљају их претежно пескови настали у плитководној средини. Сегменти жућкастих, ситнозрних и прашинастих, гвожђевитих и лискуновитих пескова са прослојцима глине, угљевите глине и угљева су бројни и достижу моћност од двадесетак метара. На профилима дубоких бушотина, распоређених у дугом низу паралелних са Дунавом, запажа се такође да пескови преовлађују или су заступљени колико и глине. Најчешће су то ситнозрни пескови равномерног састава са великим процентом средњезрних фракција и променљивим садржајем прашинастих честица. Они представљају боље колекторе подземних вода у Шумадији, с обзиром на дебљину, пространство и гранулометријски састав. О хидролошкој вези између песковитих средина унутар комплекса неогена теже је говорити. Лес, седимент квартара, има велико распрострањење у Смедеревском Подунављу. Гранулометријски лес није једнородан, нити хомоген, и спада у слабо пропусне стене. Има само вертикалну порозност и зато врши улогу спроводника подземних вода, ређе служи као резервоар у својим подинским нивоима (Јовичић, 1956).

Са аспекта регионалних хидрогеолошких односа могу се издвојити два основна типа терена - алувијалне равни и неогени басени. Алувијалне равни и речне терасе су у доњим деловима састављени од шљунковито-песковитих седимената. Дебљина ових колектора у долини Велике Мораве износи 10-20 m, а у алувијалним равнима њених притока 3-9 m. У њима је оформљена збијена издан слабог артеског или субартеског карактера знатног пространства. Неогени басени имају улогу локалних гравитационих циљева, како површинских тако и подземних вода, јер се у њима налазе хипсометријски најнижи колектори и рељефне депресије.

Пескови и глине неогена, односно пропусне и непропусне стене, смењују се на малом растојању по вертикали и хоризонтали, чинећи хидрогеолошки комплекс. У таквом комплексу веза између колекторских средина успостављена је уколико су ова два литолошка члана подједнако заступљена или преовлађују пескови. У оваквим комплексима формирана је по једна или више издани са сложеним хидрауличким механизмом, различитог простирања и дебљине, односно различите издашности. Пијезометарски ниво издани у терцијарним басенима је претежно испод површине терена, односно издан је субартеског типа (Коматина, 1976).

Читав истраживани простор припада моравској хидрогеолошкој области. Иначе, моравској хидрогеолошкој области припадају и средишња и источна Шумадија. Подземне воде се генерално дренирају ка североистоку и истоку, односно ка Великој Морави и Дунаву (слика 1). Јединице нижег реда чине сливови Језаве, Раље, Коњске реке и непосредни слив Дунава. У овим срединама формирана је једна или више издани сложеног хидрауличког механизма. С обзиром да се пескови одликују интергрануларном порозношћу, постојеће издани су збијеног типа. Дубљи неогени седименти северно од правца Младеновац - Осипаоница представљају уз алувијалне равни Велике Мораве, Језаве и Раље најбоље колекторе подземних вода. Моћни слојеви ситнозрних пескова Смедеревског Подунавља имају релативно добре колекторске одлике (ЗГГИ, 1972). Начин прихрањивања водоносних слојева у неогену је слабо изучен. Претпоставља се да је прихрањивање вертикалним кретањем кроз полупропусне повлате и подинске слојеве, а плићих делова инфилтрацијом ободом котлине. Делимично постоји и веза са алувијалном издани река. Изузев речних долина, неогена издан на осталом простору је сиромашна водом, ограничена и мале издашности и не постоје могућности за формирање већег изворишта. Комплекс неогених седимената врло је интересант са аспекта коришћења подземних вода које су акумулиране у његовим пропустним хоризонтима.

### **Издан под притиском (артеска издан)**

#### **Услови за формирање артеске издани**

Амфитеатрални положај седимената и учестало смењивање водопрпусних хоризоната по вертикали стварају погодне услове за формирање издани под притиском. Артески и субартески хоризонти у неогеној серији утврђени су бушењем бројних бунара веће дубине. Издан је најчешће у неогеним песковима у прослојцима од 5-10 m. Водоносни слојеви се јављају на различитим дубинама, у виду једног или два слоја дебљине по неколико метара, а местимично се јављају у виду више песковитих прослојака. Вода је артеска или субартеска зависно од топографске



површине. У речним долинама Велике Мораве и Раље обично се јавља као артеска, а на речним терасама, падинама и развођима као субартеска. Издашност бунара се креће од 4-10 l/s. Ретки су бунари са издашношћу преко 10 l/s. Код формирања бунара углавном се каптира више водоносних слојева. Механизам прихрањивања водоносних слојева је предмет сталног изучавања. Моћни слојеви песка, који излазе на површину или додирују обод басена, омогућују прихрањивање издани под притиском.

Један део највероватније добија воду вертикалним процеђивањем кроз полупропусне повлатне слојеве. Поједини примери указују да издан под притиском има извесну везу са првом слободном издани и да постоји могућност прихрањивања дубљих издани водама прве издани. У долини Велике Мораве истраживања потврђују да постоји хидрауличка веза прве издани са токовима активних водотока и то преко алувијалних творевина које на овом подручју имају велико распрострањење. То значи да прихрањивање ове издани директно зависи од хидролошких услова на овом подручју. Дубљи водоносни хоризонти се прихрањују и у знатно удаљенијим областима где водоносни хоризонти излазе на површину терена или се налазе у директној хидрауличној вези са другим продуктивним водоносним хоризонтима.

#### *Хидрогеолошка истраживања у Смедеревском Подунављу*

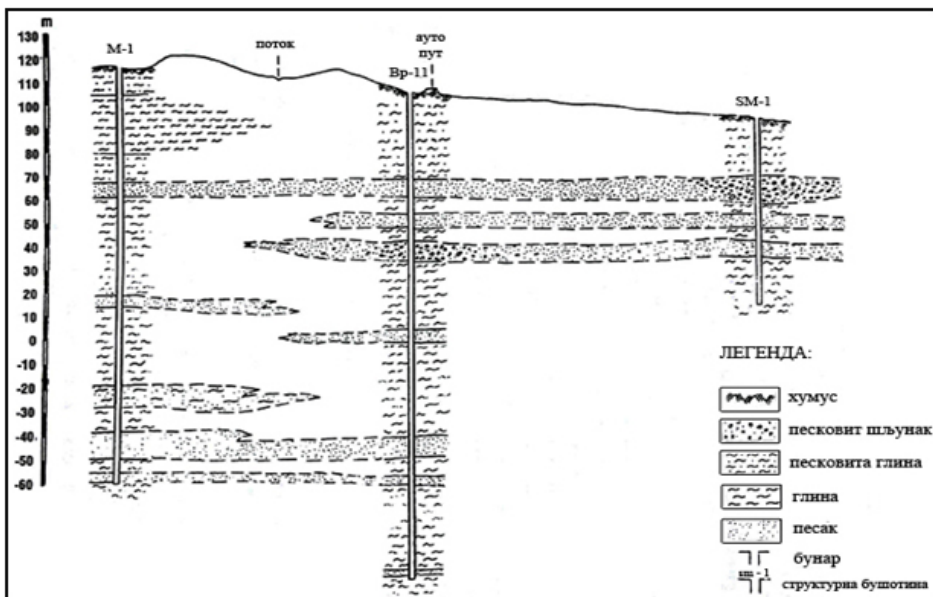
Хидрогеолошка истраживања у Смедеревском Подунављу вршена су још у 19. веку. Леонтије Павловић пише да је артеска вода још пре 1870. године почела са „дубине од 400 m“ слободно да тече на површину земље<sup>5</sup>. Бушотина о којој је писао Леонтије Павловић адаптирана је 1923. године и претворена у јавну чесму. Нема података о дубини, а претпоставља се да је каптиран водоносни слој на дубини од 307-315 m са самоизливом од око 0,3-0,5 l/s и температуром од 27°C. Најстарији прецизни податак везан је за израду артеског бунара код болнице у Смедереву, где су бушењем до 303 m утврђена четири водоносна хоризонта<sup>6</sup>. Артески бунари и чесме били су врло важни за развој старог Смедерева. Они су давали тон насељавању, положају пијаца, кафана и трговина. Њихов утицај престао је са изградњом савременог водовода, а само артески бунар „Жива вода“ код цркве је сачувао некадашњи значај. После Другог светског рата почела су детаљнија истраживања бројним дубоким бушотинама. За потребе утврђивања угљоносних басена између села Удовице и Петријево, 1952. године набушена су два слоја песка на дубини од 45-100 m и 211-224 m. Током 1962. и 1963., на простору између Велике Мораве и

---

<sup>5</sup> Павловић, Л. (1980.). *Историја Смедерева у слици и речи*. Смедерево, Музеј у Смедереву, посебно издање, књига 13.

<sup>6</sup> О овоме је, 1886. године, писао С. Радовановић.

Дунава, у Годоминском пољу, изведени су истражни радови планирани идејним пројектом одбране од вода Дунава које ће бити успорене изградњом бране у Ђердапу. Избушене су 4 бушотине до дна алувијона, затим 14 пијезометара и 3 бунара. За потребе водоснабдевања Велике Плане, Смедеревске Паланке и Младеновца истражена је алувијална равна Велике Мораве у атару села Трновче и Милошевац. Детаљни истражни радови изведени су током 1969, затим 1974. и 1975. године. Крајем 20. и почетком 21. века интензивирана је израда дубоких експлоатационих бунара. Дубока издан је врло интересантна за снабдевање водом мањих насеља, јер је вода повољног хемијског састава и бактериолошки исправна. Због тога је 1987. године започета реализација пројекта о водоснабдевању насељених места која не могу да се прикључе на градски водовод, водом из издани под притиском. До сада избушени дубоки бунари дају воду високе биолошке вредности. Већина бунара је у функцији и обезбеђује довољне количине исправне воде за потребе насељених места. Истраживања на Југову код Смедерева показују да на дубинама већим од 300 m може да се очекује већа количина артеске воде са повишеном температуром. Као колектори подземних вода јављају се пескови (прашинасти, ситнозрни до средњезрних), а у дубљим деловима лапоровити кречњак и чист литотамнијски кречњак. Хидрогеолошки изолатори су најчешће глине, песковите глине, лапорци и лапоровите глине (Хидропројекат, 1992).



Слика 2. – Хидрогеолошки профил истражног блока „Михајловац“ (прва моравска тераса) по „Геозаводу“, Београд, 1992



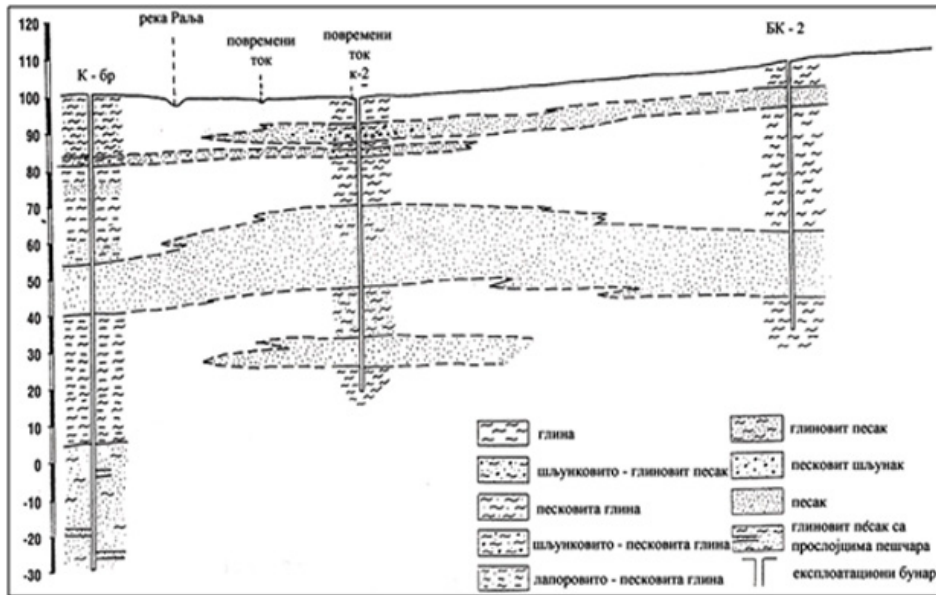
*Артеска издан у долини Велике Мораве*

Моравски ров егзистира од доњег миоцена до краја плиоцена. У њему су у неогену на већем простору наталожене дебеле наслагае, како у централном делу рова, тако и у заливима. Најстарији торгонски седименти развијени су на ободу басена, да би се идући ка центру долазило у све млађе седименте, што је последица центриклиналног нагиба слојева. Према геофизичким подацима дубина моравског рова износи око 1800 m (Петковић, 1963). До приближно 700 m дубине егзистира лапоровито песковита серија, а дубље глиновито-лапоровита (Зеремски, 1969). Артеске издани установљене су на више локалитета бушењем дубоких бунара и истражних бушотина. Дубина издани се повећава идући ка ушћу Мораве и току Дунава, што потврђује чињеницу да је дошло до спуштања панонског басена и издизања његовог обода.

У доњем делу долине Велике Мораве, у кругу хладњаче ПК „Годомин“, избушена су два бунара. Код старијег бунара Н-1 каптиран је водоносни слој од 155-170 m. Дубина бунара је 200 m, статички ниво је + 1 m, а самоизлив 1 l/s. Црпљењем је добијено 3,5 l/s. Другим бунаром Н-2, водоносни слој првог бунара је изолован, а захваћен читав пакет песковитих слојева од 278-325 m који су овде у наизменичном смењивању са прослојцима глине и глиновитих пескова. Најзначајнији водоносни слојеви констатовани су на следећим дубинама: 145-150 m, 155-170 m, 278-293 m, 303-325 m. У овој песковитој средини формирана је издан под притиском са далеко бољим хидрогеолошким карактеристикама. Издашност бунара је 9,67 l/s. Идући узводно долином Велике Мораве установљене су артеске издани у Скобаљу, Осипаоници, Лугавчини, Сараорцима, Лозовику и Трновчу. У Скобаљу је набушен бунар дубине 150 m, код кога је каптиран слој од 125-140 m. Статички ниво бунара је позитиван, а самоизлив износи 0,3 l/s. У Осипаоници дубина артеског бунара износи 130 m. Каптиран је водоносни слој од 106-120 m. Самоизлив бунара је 0,1 l/s. За бунаре у Лугавчини, Сараорцима, Лозовику и Трновчу постоје само подаци о издашности, које износе од 0,1-1l/s. Као главни водоносни слој сматрају се средњезрни и крупнозрни пескови утврђени на дубини од 116-136 m (Геозавод, 1990). Хидрогеолошке карактеристике прве и друге речне терасе у западном делу долине Велике Мораве (слика 2), изучавао је „Геозавод“, Сектор за геохидрологију из Београда. Терасе су изграђене од глиновитих, глиновито-песковитих, песковитих и шљунковитих седимената, чија дебљина знатно осцилира у правцу запад – исток. На другој тераси у локалитету Јаблановац, између Михајловца и Осипаонице, избушено је више истражно-експлоатационих бунара за водоснабдевање и заливање пољопривредних површина. Дубина издани под притиском креће се од 50-203 m. Издан је субартеског карактера, статички ниво је на дубини од 15-54 m, издашност се креће од 4,5-12,50 l/s (Геозавод, 1991).

Артеска издан у долини Раље

У долини Раље издан под притиском је на различитој дубини што значи да има више водоносних слојева. Узводно од Умчара, у алувијалној равни Раље, откривена је артеска издан у песковито-глиновитим седиментима панона. Артески бунар избушен је у рејону ауто-пута, дубине 160 m, са пијезометарским нивоом изнад површине терена. Издашност бунара износи 0,03 l/s, а температура воде од 16-17°C. Наредна бушотина у долини Раље израђена је код хотела „Јерина“, поред ауто-пута Београд - Ниш. Први водоносни хоризонт откривен је у интервалу од 23-31 m и чини га песак различите гранулације. Због могућих површинских утицаја на подземне воде овај слој није каптиран. Други водоносни слој је набушен у интервалу од 151-163 m и представљен је сивим ситнозрним до средњезрним песком у горњем делу, а у дубљим деловима су сиви прашинасти до ситнозрни пескови. Овај водоносни хоризонт је каптиран. Бунар има статички ниво 11 m изнад површине терена, добијен је самоизлив од 1,2 l/s (Нафтагас ООУР Хидросонда, 1989).



Слика 3. – Хидрогеолошки профил ширег подручја блока „Колари“ (долина Раље) по "Геозаводу", Београд, 1992

У доњем току Раље на првој речној тераси леве долине стране простире се истражни блок Колари. Комплекс је састављен од глиновитих, глиновито-песковитих и песковито-шљунковитих седимената (слика 3). Према југу ове творевине постепено прелази у алувијалне седименте, док

њихово простирање правцем запад - исток је утврђено дуж целог тока Раље. Бушотине су утврдиле постојање три водоносна хоризонта. Први водоносни хоризонт чине претежно ситнозрни до крупнозрни пескови, ређе шљункови. Подземна вода је акумулирана на дубини од 31-50,5 m. Други водоносни хоризонт састављен је од ситних до средњезрних сивих пескова. Овај хоризонт има велико простирање. Дубина хоризонта је од 65-75 m. Трећи водоносни хоризонт чине пескови дубине 160-163 m. Због веома ситне фракције, ситнозрни до прашинасти, са далеко слабијим филтрационим карактеристикама, њихово каптирање није оправдано. Код изведених бунара каптирана су прва два водоносна слоја („Геозавод“, 1991). За потребе водоснабдевања насеља Колари 2002. године на првој тераси Раље избушен је бунар дубине 120 m. Каптирана су три водоносна хоризонта дубине од 56 до 112 m. Максимална издашност је до 8 l/s. Бунар је са субартеским притиском до 4 m од топографске површине. На изласку долине Раље у моравску долину, на десној долињској страни, односно „Цвијићевој“ Београдској површи (120 m), избушен је дубоки бунар за водоснабдевање Врбовца (2002). Тераса је саграђена од глиновито-песковите и песковите серије панона, плиоценских творевина понта и седимената плеистоцена и холоцена. Каптирана је најквалитетнија серија за водоснабдевање коју чине ситнозрни до крупнозрни понтијски пескови. Дебљина водоносних слојева је релативно мала, до 9 m, па је каптирано више слојева од 120-180m. Статички ниво бунара је 40 m метара испод површине терена, а издашност бунара 3 l/s.

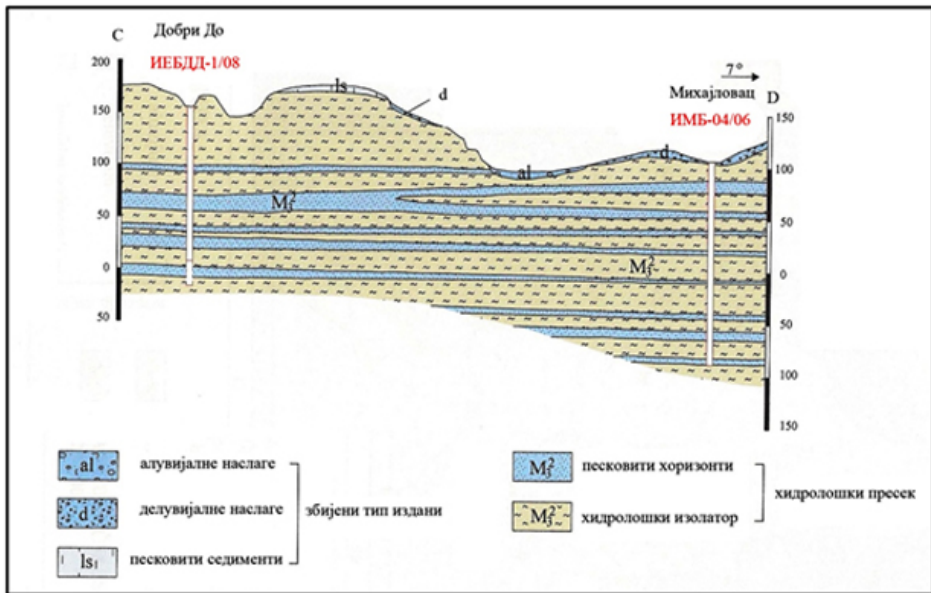
#### *Артеска издан на развођима и заравњеним површинама*

Хидрогеолошке услове, дубине артеске издани и њихову издашност јужно од реке Раље, на развођу поменуте реке и заравњених површи у овом делу Шумадије, најбоље можемо илустровати на основу бушотина у Малом Орашју, Бадљевици, Друговцу, Суводолу, Луњевцу и Михајловцу. Прва бушотина Р-3 у Малом Орашју урађена је још 1963. године. Седименти горњег панона констатовани су од 11-84 m, а од 84-141 m доњег панона. Издашност бунара после неколико година осматрања и знатних колебања усталила се на 1,04 l/s. С обзиром да овај бунар није био довољног капацитета да задовољи потребе становника Малог Орашја, 1995. године избушен је још један дубоки бунар дубине 256 m. Каптирана су три водоносна слоја. Водоносни хоризонти изграђени су од средњезрних пескова. Статички ниво је на 89,92 m. Капацитет бунара износи 4,5-5,5 l/s (Хидропројекат, 1995). За потребе села Бадљевица 1989. израђена је бушотина БАД-1, дубине 250 m. Терен је као и код претходних бушотина представљен панонимом, а чине га песковите и лапоровите глине, глине лапори, и пескови, претежно ситнозрни и прашинасти. Вода је под субартеским притиском, статички ниво је на

дубини од 7,13 m од површине терена. Хидродинамичка својства водоносника због присуства ситних и прашинастих седимената су доста неповољна, али су резерве воде значајне. Оптимална издашност према прорачуну „Геозавода“ износи 1 l/s (Геозавод, 1989). У истоветним геолошким и геоморфолошким условима за потребе села Друговац 2002. године избушен је бунар дубине 250 m. Каптирани су водоносни хоризонти од 113 до 226 m. Хидростатички притисак је субартеског карактера, достиже 71,5 m од топографске површине. Максимална издашност бунара је 5,5 l/s. Михајловац је насеље смештено на Голобочко -крњевачкој греди на левој долињској страни Велике Мораве. У Михајловцу је 1991. избушен артески бунар код кога су каптирани водоносни песковити хоризонти од 151-164,60 m и 168,3-172,65 m. Водоноснике чине средњезрни до крупнозрни пескови. Бунар је дубине 180 m, издашности 4,5 l/s. Статички ниво је на 13,28 m од површине терена. Године 2007. у Михајловцу је због додатних потреба за квалитетном водом урађен још један бунар на локацији „Црнићи“ код кога су каптирани слојеви од 146-195 m, оптималне издашности од 4,12 l/s (Водоремонт инжењеринг, 2007). За потребе утврђивања квалитетних водних ресурса и решавања водоснабдевања у селу Добри До, смештеног такође на Голобочко-крњевачкој греди, започете су активности на изради бунара ИЕБДД-1/03. током 2007. и 2008. године. Анализом резултата који су добијени бушењем истражно-експлоатационог бунара у Добром Долу утврђено је да су панонске наслаге у вертикалном профилу размештене у више слојева, смењују се слојеви глина, песковитих глина, заглињеног песка и песка који се креће од ситнозрног до средњезрног. Рударско-геолошки факултет из Београда, Департаман за хидрогеологију, урадио је хидрогеолошко картирање терена (слика 4), тестирање бунара и извршио хемијске анализе воде. Експлоатациона издашност бунара је 3,7 l/s. Каптирани су слојеви песка ситнозрне и средњезрне гранулације на дубини од 137 m. На левој долињској страни, северно од тока Раље, у селу Водањ избушен је 1988. субартески бунар. Каптирани су песковити слојеви на дубини од 252-276 m. Ниво воде попео се на 33,17 m од површине. Издашност бунара је 4,5 l/s. За потребе водоснабдевања села Вучак на Петријевској површи урађена је 1992. године бушотина Б-2. Литолошки профил бушотине чине глиновити материјали, издвојени као чисте глине или глине са примесама пескова. Пескови су издвојени у више серија и углавном се налазе између 60 и 116 m дубине и у завршном делу бушотине, од 240-260 m. Због различитих филтрационих карактеристика пескова каптирано је пет водоносних слојева на дубини од 65-105 m. Издан је субартешка, статичког нивоа од 39,5 m и оптималне издашности 5,5 l/s (Геозавод, 1989).

Упоредном анализом изведених истражних бушотина и набушених дубоких бунара у шумадијском побрђу јужно од реке Раље може се закључити да је дубока издан субартеског типа. Издвајају се три водонос-

на хоризонта. Први је од 50-80 m, слабијих карактеристика, а други хоризонт је између 140 и 170 m. Вода је акумулирана у ситнозрним песковима и најбољи водоносник је трећи хоризонт на дубини од 200-230 m, а чине га средњезрни до крупнозрни пескови. Издашност артеске издани у овом делу креће се 4-5 l/s. Северно од тока Раље хидрогеолошки услови су делимично измењени. Доминирају седименти понта. Издвајају се пескови, ситнозрни, средњезрни и прашинасти. Мање има глина, суглина и угља. Због неповољних хидрогеолошких карактеристика каптира се више слојева да би се добила потребна количина воде.



Слика 4. – Хидрогеолошки пресек између бунара ИЕБДД-1/03 у Добром Долу и бунара ИМБ-04/06 у Михајловцу (Департману за хидрогеологију Рударско-геолошког факултета, Београд, 2008)

#### *Артеска издан непосредног слива Дунава*

Већи број бушотина и дубоких бунара у Смедереву и алувијалној равни Дунава могу да нам омогуће да сагледамо хидрогеолошке прилике, дубину издани под притиском и њене карактеристике. У Смедереву се користе дубоки бунари у кругу болнице и бунар код цркве<sup>7</sup>. На Југову, десној обали Дунава, избушена су четири артеуска бунара. Према геолошком профилу геотермалне бушотине ТМ - 1А на Југову, дебљина

<sup>7</sup> Павловић, Ј. (1980.). *Историја Смедерева у слици и речи*. Смедерево, Музеј у Смедереву, посебно издање, књига 13.

терцијарних седимената износи око 1100 m и лежи на дијабаз рожњачкој формацији јурске старости. Ова формација на дубини испод 1200 m састоји се од глинаца, пешчара и рожнаца. Терцијарни седименти су од 700-1100 m, а чине их глиновити, лапоровити и песковити седименти (Хидропројекат, 1992). Сарматски седименти у кругу болнице износе око 300 m, леже на дубини од 400-700 m. Панонски седименти заступљени су сивозеленим песковитим и алевритским глинама и песковима и леже преко панонских седимената (Хидропројекат, 1989a). У хидрогеолошком погледу издвајају се лапорци и лапоровите глине као хидрогеолошки изолатори и песковито лапоровити кречњаци и чисти кречњаци као хидрогеолошки колектори. За разлику од лапоровитих и глиновитих хоризоната, знатно су интересантнији тортонски кречњачки хоризонти, издвојени на основу одличних хидрогеолошких својстава (моћност и издашност) у хидрогеолошке колекторе. Бушењем истражне бушотине ТМ - 1/A у интервалима где се налазе песковито-лапоровити кречњаци (746-760 m) и чисти кречњаци (817-862 m) регистровани су приливи воде под притиском који су потврдили претпоставку о постојању издани под притиском у овим хоризонтима. Геофизичким испитивањем утврђена је температура воде из кречњачког колектора од 65-67 m, чиме се наговештава перспективност кречњачке издани за добијање термалне воде. Изнад тортонске серије лежи пакет доњег сармата представљен лапоровитим глинама, глиновитим песковима и чистим песковима (Хидропројекат, 1992). Изнад сармата је панонска серија са готово идентичним материјалом. Значај серије у хидрогеолошком погледу побољшава присуство чистих пескова у којима је формирана артеска издан. Каптирани су водоносни песковито лапоровитих кречњака и чистих кречњака тортона, који су у интервалима од 746-760 m и 817-862 m дубине. Артеска издан је изузетне термалне вредности, температура воде је од 66-67°C. Добијена вода је са повећаном минерализацијом од 15,83-25,8 g/l и високим салинитетом од 24,86 g/l који даје укус морских вода. Повећање концентрације биолошки активних јона јода и брома, као и елемената из групе тешких метала, води дају лековита својства. Институт за рехабилитацију из Београда препоручио је коришћење ове воде за лечење реуматских обољења (реуматски артритис, артроза, спондилоза). У води бушотине ТМ-1/A регистровано је и присуство метана (56-65%), азота (29-40%), угљендиоксида (0,5 - 4%) и сумпорводоника (0,5%). Самоизлив бушотине износи 1 l/s (Хидропројекат, 1992).

На Југову су, осим поменуте бушотине, избушена још три артеска бунара. ЈБ-1 је дубине 70 m. Каптиран је водоносни слој од 42-67 m. Бунар има самоизлив од 1 l/s. ЈБ-2 је артески бунар дубине 200 m. Каптиран је водоносни колектор од 178-194 m. Самоизлив бунара износи 5 l/s, са температуром воде 24°C. Вода није за пиће, али је на граници лекови-



тости. Последња бушотина у овом делу набушена је у селу Сеоне на десној долинској страни Дунава. Надморска висина бушотине је 200 m, знатно виша од предходних. Дубина бушотине је 315 m, каптирани су водоносни хоризонти на 171-180,5 m и 183-195 m.

### Дискусија

Досадашња истраживања и велики број истражних бушотина и бунара за водоснабдевање насељених места у целини приказују хидрогеолошке одлике Смедеревског Подунавља, као и просторни распоред и величину водоносног хоризонта у овом неогеном комплексу (табела 1). Корелацијом истражних бушотина и бунара процењено је да коришћење вода издани под притиском зависи од правилног одређења територијалне заступљености, дебљине колекторске средине, одређивања параметара водоносне средине, хипсометријског положаја колектора према речним долинама и могућности прихрањивања подземних вода. Код одређивања моћности колектора дубоких издани јавља се проблем процене прихрањивања и експлоатације. Хидрогеолошки пространи басени су подељени на подручја прихрањивања, притисака и пражњења. Наглашено је да је подручје прихрањивања на местима где наслага песка излазе на површину или се наслањају на обод басена, што омогућава инфилтрирање падавина и прихрањивање дубоких издани. Подручје истицања или експлоатације најчешће је више десетина или стотине километара удаљено. Између ова два подручја налази се простор под притиском, где може да постоји веза артеских вода са површином, која може да буде и минимална или чак да је уопште нема. Артеске воде одликује постојан режим и мала брзина кретања. Годишње климатско-метеоролошке промене такође утичу на биланс и режим артеских вода.

У Смедеревском Подунављу збијени тип издани развијен је у седиментима неогених наслага панонске старости које су углавном од пескова различите старости. Панонски седименти простиру се целом површном испод квартарних творевина па се слободно може рећи да у потпуности обухватају геолошки лист Смедерево. Моћност неогених наслага према Основној геолошкој карти 1:100 000, лист Смедерево, креће се од 740-1550 m, а дебљина панонских седимената има моћност 160-220 m. Уочава се наизменично смењивање хидрогеолошких колектора изграђених од песковитих и шљунковитих седимената и хидрогеолошких изолатора које чине глиновите творевине. У хидрогеолошком погледу најзначајнија су водоносни хоризонти у којима су у седиментима интергрануларне порозности (средњезрни до крупнозрни пескови) акумулиране подземне воде са економским значајем за експлоатацију. Велики број објеката на истраживаном простору каптира ове слојеве,

нарочито средњезрне пескове. Такође и у алувиону Велике Мораве седименти панона, који су представљени ситнозрним и средњезрним песковима, су најважнији водоносни слојеви, што се доказује на примеру бушотина у Скобаљу, Осипаоници, Лугавчини и Сараорцима.

Табела 1. – Хипсометријски положај водоносног хоризонта, издашност и тип дубоких бунара у Смедеревском Подунављу

| Назив бунара                        | Година изградње | Дубина водоносног хориз. (m) | Издашност (l/s) | Тип издани |
|-------------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|------------|
| Бунар код болнице***                | 1896            | 303                          | 0,7             | артески    |
| Бунар код цркве***                  | 1923            | 307-315                      | 0,5             | артески    |
| Бунар између Удовица и Петријева*   | 1952            | 45-100                       | /               | субарт.    |
| Бунар код жел.станице Водањ**       | 1969            | 114-120                      | 0,8             | артески    |
| Бунар у Коларима**                  | 1969            | 35,7-38,4                    | 2,0             | артески    |
| Мотел „Јерина“ Б-2**                | 1976            | 18-30<br>128-136             | 0,1             | артески    |
| Југово***                           | 1985-1988       | /                            | 2               | /          |
| ЈБ-1***                             | /               | 176-194                      | 2,5             | артески    |
| ЈБ-2***                             | /               | 42-67                        | -               | артески    |
| ТМ-1***                             | /               | 268-283                      | 22              | артески    |
| Нови бунар код болнице Б-1***       | 1987            | 281-310                      | 0,7             | артески    |
| Југово ТМ-1/А (термална вода)***    | 1987            | 746-760<br>817-862           | 1               | субарт.    |
| Бунар у насељу Водањ В-1**          | 1988            | 253-277,8                    | 4,9             | субарт.    |
| Бунар код мотела „Јерина“ ИБ-1**    | 1988            | 151-163                      | 0,6             | артески    |
| Бунар у Бадљевици БАД-1*            | 1989            | 141-155                      | 1               | субарт.    |
| Бунар у Вучаку В-1*                 | 1991            | 64-116                       | 5,5             | субарт.    |
| Бунар у Михајловцу*                 | 1991            | 151-172                      | 4,5             | субарт.    |
| Бунар у Осипаоници****              | 1991            | 89,5-111,5                   | 3               | артески    |
| Бунар у Скобаљу****                 | 1991            | 144-150                      | 0,2             | артески    |
| Бунари у кругу ПК „Годомин“****     | /               | /                            | /               | /          |
| Х-1****                             | 1991            | 155-170                      | 5,5             | артески    |
| Х-2****                             | 1992            | 278-325                      | 3,5             | артески    |
| Јаблановац Ј-1*                     | 1992            | 116,3-122,2                  | 9,67            | субарт.    |
| Бунари у кругу подрума Колари К-2** | 1992            | 65-75                        | 0,7             | субарт.    |
| Бунар у Бадљевици БАД-2*            | 1994            | /                            | 0,3             | субарт.    |
| Бунар у Друговцу*                   | 1994            | До 200                       | 5               | субарт.    |
| Бунар у Малом Орашју*               | 1995            | 200,9-234                    | 6               | субарт.    |
| Бунар у Суводолу*                   | 1995            | /                            | 5,5             | субарт.    |
| Бунар у Врбовцу*                    | 2002            | 50-141                       | 4,5             | субарт.    |
| Бунар у Коларима**                  | 2002            | 56-112                       | 8,4             | субарт.    |
| Бунар у Друговцу*                   | 2002            | 113-226                      | 5,5             | субарт.    |
| Бунар у Сеонама*                    | 2002            | 58-112                       | 7,5             | субарт.    |
| Бунар у Петријеву*                  | 2003            | 279-315                      | 4,7             | субарт.    |
| Бунар у Михајловцу ИЕБМ 4/06*       | 2007            | 146-194                      | 4,12            | субарт.    |
| Бунар у Добром Долу ИЕБДД-1/03*     | 2008            | 58-136,8                     | 3,7             | субарт.    |

\* Бунари на развођима и заравни; \*\* Бунари у долини Раље; \*\*\* Бунари у непосредном сливу Дунава; \*\*\*\* Бунари у долини Велике Мораве

Као хидрогеолошки изолатори или условно безводни делови су наслага средњег и горњег плеистоцена који је углавном глиновито-песковитог састава, са променљивом количином шљунковитог материјала. Најраспрострањеније су алевритске глине, затим песковито-глиновити алеврити, просечне моћности око 20 m. У оквиру њих нема услова за формирање издани, па су то претежно безводни терени или хидрогеолошки изолатори. Прихрањивање издани је на ободним деловима неогених наслага. У тим зонама, на контакту неогених и пренеогених стенских маса, врши се инфилтрација атмосферских талога и површинских токова у слојеве песка панонске старости. Падавине које се излучују на овом подручју немају већи значај због слабо пропусних глина које онемогућавају инфилтрацију. У долинама Велике Мораве, Раље и Дунава и на нижим терасима могуће је дотицање воде из других типова издани (фреатске). Топографска површина утиче на дубину водоносних слојева и на карактер артеских бунара.

Велики значај за хидрогеолошке прилике читавог подручја има тектонски склоп терена. Тектонским покретима у средњем миоцену, а нарочито крајем плиоцена, дошло је до исхеравања понтијских седимената у правцу југозапад-североисток. Овим кретањима створено је више блокова са различитим дубинама до водоносних слојева, што се види из прегледа дубина бушотина у Подунављу и долини Раље и Велике Мораве. На геолошком листу Смедерево уочено је неколико активних раседа који имају утицај на геоморфолошке прилике, положај водоносних колектора и дубину издани. Свакако треба издвојити Смедеревско-Ћупријски расед који се протеже западним ободом долине Велике Мораве, расед Панчево-Смедерево-Пожаревац, дуг око 140 km, а велики значај имају и Азањски, Јасенички и Раљски расед, дуж кога се протеже долина Раље у правцу запад-исток, познат из радова П. Стевановића (1949). Геофизичка истраживања открила су бројне попречне раседе од којих је најзначајнији Гроцка-Колари, чији правац по азимуту износи 110°.

Подела Смедеревског Подунавља на наведене четири мање хидрогеолошке целине проистиче из досадашњих резултата и карактеристика тестираних бушотина које су у функционалној вези са топографском површином и геолошким саставом терена. Дубина водоносних слојева у долини Велике Мораве повећава се ка њеном ушћу у Дунав због спуштања панонског басена и издизања његовог обода. Непосредни слив Дунава и придунавски део Смедерева карактерише артески тип дубоке издани. Сви бунари имају хидростатички притисак изнад површине, односно самоизливе различите издашности. Дубока бушотина ТМ-1/А на Југову даје воду повећане минерализације и високог салинитета (укус морске воде), што упућује на потврду геолошке историје и тектонских кретања ове области.

### Закључак

На подручје Смедеревског Подунавља годишње падне 660 mm падавина, или 320.000.000 m<sup>3</sup> годишње. Од тога мали део отиче. Већина река пресушује, велики је број повремених токова. Дунав и Велика Морава су значајни водотоци, али њихов потенцијал је слабо искоришћен јер су у великој мери загађени. Још озбиљније је стање са мањим водоточима у унутрашњости ове области. Због тога је становништво за потребе водоснабдевања усмерено ка подземним водама. Међутим, и фреатска издан је у новије време изложена јачем загађењу, па је као могућност остала једино дубока издан. Потенцијал дубоке издани је велики, али није довољно истражен. Рад представља анализу и синтезу расположивих података о геолошким и хидрогеолошким карактеристикама Смедеревског Подунавља. Смедерево ће у будућности за снабдевање градског и сеоског становништва морати да повећа производњу пијаће воде за око 20%. У алувијалним равнинама Велике Мораве и Дунава воде има довољно, али је проблем обезбедити њена квалитетна својства. Значи, проблем водоснабдевања у Смедеревском Подунављу, као и у читавој Србији, није квантитативне већ квалитативне природе. Интегрално и одрживо управљање водним ресурсима на једном простору треба да се ослања на обједињавању свих расположивих ресурса и њиховом рационалном коришћењу, за различите кориснике и намене, а не на инсистирању да се сви корисници по сваку цену интегришу око једног водног ресурса.

### Литература

- Миладиновић, С. (1980). *Урвине у долини Раље*. Дипломски рад. Нови Сад: Депарتمان за географију, туризам и хотелијерство ПМФ.
- Водопривредна основа Републике Србије*. (2001). Београд: Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде и Институт за водопривреду "Јарослав Черни".
- Водоремонт инжењеринг. (2007). *Извештај о изради истражноексплоатационог бунара ИЕБМ 4/06 на изворишту водовода „Црнићи“*. Сириг: Водоремонт инжењеринг.
- Војно-географски институт. (1992). *Топографска карта, 1:50 000, лист Смедерево 4, стање 1990*. Београд: Војно-географски институт.
- Генерални урбанистички план Смедерева. (1983). Приобаље - хидролошка студија, св. 01. Смедерево.
- Геозавод. (1989). *Извештај о резултатима истражног бушења и израде бунара БАД-1 у Бадљевици*. Београд: Геозавод, Одељење за хидротехничка и геотехничка истраживања.

- Геозавод. (1990). *Пројекат студије - Хидролошка основа уређења интегрисаног управљања водним ресурсима на територији општине Смедерево*. Београд: Геозавод, Институт за геолошка, хидрогеолошка, геотехничка, геофизичка истраживања и истраживања минералних сировина.
- Геозавод. (1991). *Извештај о изради бунара В-1 у Вучаку*. Београд: Геозавод, Одељење за хидрогеолошка и геотехничка истраживања.
- Група аутора (1992). *Општина Смедерево*. Посебна издања, 39. Београд: ГИ „Јован Цвијић“ САНУ.
- Дукић, Д., и Гавриловић, Љ. (2008). Хидрологија Београд: Завод за уџбенике.
- Завод за геолошка и геофизичка истраживања. (1972). *Инжењерскогеолошке одлике терена слива Велике Мораве, 1*. Београд: Завод за геолошка и геофизичка истраживања.
- Зеремски, М. (1969). Хидрографске особине удолине Велике Мораве. *Зборник радова ГИ „Јован Цвијић“*, 22, 227-302.
- Зеремски, М. (1982). Ортогоналне морфоструктуре и једносмерне асиметрије геоморфолошки показатељи неотектонских процеса ниске Шумадије. *Зборник радова ГИ „Јован Цвијић“ САНУ*, 34.
- Јовановић, П. Б. (1969). Релјеф средњег и доњег дела великоморавске удолине. *Зборник радова ГИ „Јован Цвијић“*, 22, 93-144.
- Јовичић, Ж. (1956). Смедеревски лес у геоморфолошком аспекту. *Зборник радова Географског института ПМФ*, 3, 21-38.
- Коматина, М. (1976). Хидрогеологија Шумадије. Расправе Завода за геолошка и геофизичка истраживања, 17.
- Коматина, М., и Џаковић, Ј. (1975). *Биланс подземних вода*. Расправе Завода за геолошка и геофизичка испитивања.
- Лазаревић, Р. (1960). О морфогенези површи по јужном ободу Панонског басена. *Гласник Српског географског друштва*, 40 (1), 17-30.
- Марковић, Ђ. Ј. (1988). Тектоморфохидрогенеза Средње Србије. *Географски годишњак Подружнице Крагујевац*, 24.
- Миладиновић, С. (1997). Хидролошке карактеристике смедеревског Подунавља и Поморавља. *Магистарски рад*. Нови Сад: Депарتمان за географију, туризам и хотелијерство ПМФ.
- Миладиновић, С. (2013). *Морфогенетска еволуција и геотопографске одлике рељефа Смедеревског Подунавља и Поморавља*. Смедерево: Народна библиотека Смедерево.
- Нафтагас ООУР Хидросонда. (1989). *Извештај о хидрогеолошко-техничким карактеристикама истражно-експлоатационог бушења бунара Б-2 код мотела „Јерина“*. Београд: Нафтагас ООУР Хидросонда.
- Павловић, Л. (1980). *Историја Смедерева у слици и речи*. Посебно издање, 13. Смедерево: Музеј у Смедереву.

- Рударско-геолошки факултет. (2008). *О резервама подземних вода бунара ИЕБДД-1/03 у селу Добри До, СО Смедерево*. Београд: Рударско-геолошки факултет, Департман за хидрогеологију.
- Ршумовић, Р. (1984). Неотектонске појаве Шумадијског подунавља. *Зборник радова ГИ „Јован Цвијић“ САНУ*, 36, 23-35.
- Савезни геолошки завод (1979). Београд, Геолошка карта 1:100 000, лист Смедерево, 1 34-126.
- Хидропројекат. (1989а). *Пројекат хидрогеолошких истраживања за потребе водоснабдевања мотела „Јерина“ на ауто-путу Београд - Ниш, близу Смедерева*. Београд: Хидропројекат.
- Хидропројекат. (1989б). *Пројекат хидрогеолошких истраживања термоминералне воде на локацији Медицинског центра „Миливоје Стојковић-Мића“ у Смедереву*. Београд: Хидропројекат, РЈ Водопривреда.
- Хидропројекат. (1992). *Хидрогеолошка истраживања термоминералних вода на Југову код Смедерева*. Београд: Хидропројекат, РЈ Водопривреда.
- Sibinović, M., Winkler, A., & Grčić, M. (2014). Agriculture in a Transitional Crisis Period: Crop Production in the Administrative Region of Belgrade from 1991 to 2002. *Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft*, 156, 293-310.



Original scientific article

## **HYPSOMETRIC POSITION AND YIELD OF AQUIFERS UNDER PRESSURE IN DANUBE REGION OF SMEDEREVO**

Slobodan Miladinović<sup>\*1</sup>, Stevo Jaćimovski\*, Dalibor Kekić\*

\*Academy of the criminalistic and police studies, Belgrade

**Abstract:** In this study, we have analyzed the characteristics of deep aquifers that belong to hydrogeological area of Morava region, that is a part of Smederevo Danube region. Hydrogeological complex of Smederevo Danube region was developed in the sediments originated in Neogene. We have observed alternative rotations of hydrogeological collectors, composed of sandy and gravel sediments and hydrogeological insulators that make clay creations. Based on the analysis of geological research, geophysical exploration and drilling for the need of water supply, we have tried to present a spatial position of the collectors, and dense aquifers formed in them. Mapping the dispersion of collectors and evaluating the yield of deep aquifers, it is possible to ascertain the possible usage of water under pressure. Aquifer under pressure is of sub-artesian and artesian character with the level of groundwater from +0.6 to -90 m. Exploitation yield of objects ranges over 5 l/s. Chemical analysis of groundwater from Pontic water-bearing sands, according to Alekin, shows that it belongs to the hydrocarbon-alkaline earth types of water whose mineralization is around 0.5 g/l. This means that this water is moderately hard and that it can be used for drinking. The waters of Pannonian layers belong to soft water, and in the deeper parts there is a possibility of increased mineralization.

**Key words:** Smederevo Danube region, artesian (confined) aquifer, yield

*Date submitted:* 12 February 2015; *Date accepted:* 17 November 2015

### **Introduction**

Smederevo Danube region lies between the Danube in the north, the Velika Morava in the east and Šumadija hills in the south and west, or, respectively, between the far north of the Morava region and the north eastern part of Šumadija hillside. Morphostructurally, this area belongs to the lower part of the Velika Morava valley plain, whereby its eastern half belongs to the valley plain of the Velika Morava, and in its western half the basins of the Ralja and the Konjska reka rivers are carved in the surface with the height of 200 to 300 m

---

<sup>1</sup> Correspondence to: slobodan.miladinovic@kpa.edu.rs

altitude. Hydrographically, this area predominantly (about 90%) belongs to the Velika Morava river basin, while the smaller parts in the north are directed towards the immediate basin of the Danube (Миладиновић, 2013). The area analyzed in this work has been the subject of numerous geomorphological researches within the wider Šumadija and Morava regions. Lazarević in several works thoroughly analyzes the relief of basins of Ralja, Konjska reka and Jezava river and immediate basin of the Danube from Grocka to Smederevo<sup>23</sup>. The special significance of aforementioned works is in the extrication of areas endangered by landslides. Landslides near Smederevo were also mentioned by Jovanović<sup>4</sup>. In geomorphological works concerned with the wider area of Belgrade, Jovičić (1956) analyses the characteristics and evolution of forms in the loess plateau near Smederevo. Regional geographical study of the Velika Morava and the South Morava analyses geomorphological, hydrological and hydrogeological characteristics of the Velika Morava valley (Јовановић, 1969; Зеремски, 1969). Topographical features of the land and geological foundations of the municipality of Smederevo were analyzed and evaluated in terms of planning, development and use of geographic space in the monographic study published by Geographic Institute "Jovan Cvijić" of the the Serbian Academy of Sciences in 1992.

In terms of geotectonics, this area belongs to bigger Morava-Banat basin structural unit that is comprised of sediments of the middle and upper Miocene and lower Pliocene (with slight decreases, up to 5° towards the NW Pannonian depression) and Danube postbasin structural unit which includes the youngest Pleistocene and Holocene aeolian, fluvial and slope sediments, with horizontal or slightly inclined propagation in accordance with paleorelief (Various authors, 1992). The basic structural features are the regional longitudinal neotectonic active fractures with the NNW-SSE direction spreading. The oldest and largest structural forms have meridian direction of stretching and are presented by positive morphostructures of Požarevačka greda ridge in the east and Golobok – Krnjevo greda ridge in the west, and between them is the Velika Morava trench (Марковић, 1988).

The analysis of morphometric characteristics of the relief clearly indicated the division of the territory on the lower part, comprised of the bottom of the Velika Morava valley, the Ralja and the lower part of the valley Konjska reka (with an average height of 85 m and a slope of 0.5%); the space of Petrijevo and Vrbovac surface, with average height from 151.9 to 169.2 m with an

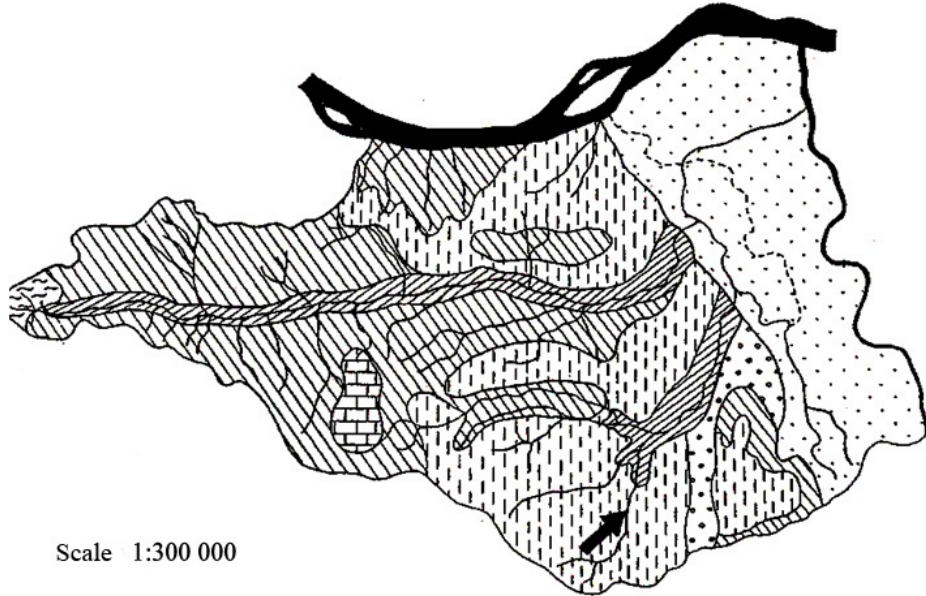
---

<sup>2</sup>Лазаревић, Р. (1957). Рељеф непосредног слива Дунава између Гроцке и Смедерева. *Зборник радова Географског института САНУ*, 13, 165-190.

<sup>3</sup>Лазаревић, Р. (1957). Слив Језаве, Раље и Коњске реке. *Зборник радова Географског института САНУ*, 13, 95-163.

<sup>4</sup>Јовановић, С. П. (1951). Осврт на Цвијићево схватање о абразионом карактеру рељефа по ободу Панонског басена. *Зборник радова Географског института САНУ*, 1, 1-23.

inclination of 8,4-11°; and the spring section of the Ralja and the Konjska reka with the height of 170-182 m and slope of 18-22°.











-  sand and gravel - sandy, thickness 10-20 m with semipermeable or tight shelf thickness 10-20 m
-  gravels - sandy and sands gravelly, thickness 3 m
-  loess and sandy loess with scars of sand thickness 10-30 m, filtration features pronouncedly anisotropic
-  gravels, sands and clay lake and river terrace thickness aquifer 5-10 m exceptionally bigger
-  sands - fine-grained and middle-grained with side transition into clayed sand, thicknesses 5-10 m alternates with alevrites, clay and marl of aquifers at depths to 150 m
-  limestones, sandy limestone and marl, dolomite and dolomite limestones, limestone breccia and conglomerate, very rare marbles, sandstones etc. The aquifers are formed in differently expressed fracture system; aquifers are clearing out through spring till 10 l/s
-  clay, clay - marl, clay-sandy, marl, slate, subordinated weakly bound sandstones and limestone
-  general direction of movement of groundwater

Figure 1 – Hydrogeological map of the Danube region of Smederevo according to the *Water Industry basis of Serbia (2001)*

Apart from these divisions, certain morphometric specificities presents the right side of the Danube valley basin and right tributaries of the Ralja where greater dissection and special geological and hydrological condi-

tions are evident, that enabled more intense gravitational movement of soil, caused intense surface washing and interference of gullies and small torrential streams. In the researched area, four basic landscape units can be distinguished. The eastern part is represented by the Velika Morava valley and the undulating area of the central and western part of the other three parts: the right side of the Danube valley, the valleys of left tributaries of the Velika Morava (Ralja and Konjska reka), and flat watershed between them.

### **Tasks and research methods**

The main task is, as it is stated in the title of the work, to form a database that can be used for exploring the geological and hydrogeological elements essential for the formation of deep water aquifers in the Danube region of Smederevo, and for current and potential use of such resources. Analyzing a large number of deep drill holes, through geological set, hydrogeological parameters of aquifer protection, distribution, conditions of recharge and recovery, estimations were made about qualitative characteristics of the level that allows their use for the purpose of water supply. Based on the exploration and exploitation of deep drill holes and pumping wells, the basic data on the quantity, quality and mode of groundwater aquifers under pressure have been pointed out. Exploration and exploitation of water intakes are classified according to the geomorphological characteristics of the terrain. The possibilities of renewing mineable reserves and the degree of attachment to the alluvial-delluvial environments, or character (contact) water of the nearby water-bearing areas, such as phreatic aquifer and surface streams have been emphasized. For solving this tasks different methods were used.

Any serious study is preceded by the complete introduction to important data, necessary for defining the ultimate goal of research. Initial method used in this paper is descriptive statistics by which data on deep drill holes, geological structure, hydrogeological collectors and insulators are summarized. Quantitative representations are used along with graphic representations. By applying method of analysis, based on existing geological and hydrogeological elements, data on hydrogeological objects were obtained which can be, later, used to cap water supply. Using the regional analysis method, hydrogeological data in the valleys of the waterways and watersheds were compared (i.e. the relationship between geological structure and morphology) which helped us to reach conclusions about the depth and capacity of deep aquifers. We applied the method of correlation analysis especially in the Pannonian and Pontian sediments, where we detected the connection between potency and granulometric composition, water repellent sandy layer, clay as a hydrogeological insulator and water yield. Using synthesis, through representation of selected territorial units and empha-

sis of functional relationship between the geological composition and hypsometrical characteristics, we created the possibility for this research to be seen holistically. This research included field work, survey and terrain reconnaissance of the entire area, detection of typical morphological and available geological and hydrogeological elements relevant for the research.

### **Hydrogeological characteristics**

The Danube Region of Smederevo belongs to the lower Šumadija area, covered with powdery sediments of Neogene and alluvial deposits in the river valleys. Sand, or sandy horizons are major collectors of groundwaters (Коматина & Цаковић, 1975). Neogene sediments were deposited in the basins and spread throughout the area. Pannon is most common in neogene series and is represented by a complex of sand and clay sediments that are vertically and laterally intersected (Завод за геолошка и геофизичка истраживања [ЗГГИ], 1972). Pont creations are widely dispersed in the Danube region of Smederevo. Considering Ponts lithological composition, one could say that it is quite different from the Pannonian. Pont creations are predominantly represented by sands formed in shallow water environment. The segments of yellowish, fine-grained and dusty, iron sands with intercalations of clay, carbonaceous clay and coal are numerous and can be to 20m thick. On the profiles of deep drill holes, arranged in a long line parallel to the Danube, it is also observed that sands prevail or that they are represented as much as clay. They are mainly fine grained sands of balanced composition with a high proportion of medium grain fractions and changeable content of dusty particles. They are one of better collectors of groundwater in Šumadija, due to their thickness, space and granulometric composition. A hydrological relation between the sandy environment within the Neogene complex is difficult to discuss. Loess, sediment of quaternary, has extensive distribution in Danube region of Smederevo. Granulometric loess is not homogeneous, and belongs to the poorly permeable rocks. It has only vertical porosity and therefore performs the role of conductor of groundwater. Loess often serves as a reservoir in its underlying stratum levels (Јовичић, 1956).

From the aspect of regional hydrogeological relations, two basic types of terrain can be distinguished- alluvial plains and Neogene basins. Alluvial plains and river terraces in the lower parts consist of gravel-sandy sediments. The thickness of these collectors in the valley of the Velika Morava is 10-20 m, and in the alluvial plains of its tributaries 3-9 m. Compact aquifer of poor artesian or sub-artesian character of considerable expanse is formed in them. Neogene basins are part of the local gravitational objectives, both surface and groundwater, because they contain the lowest hypsometric collectors and relief depression. Sand and clay of Neogene, i.e.

permeable and impermeable rocks are interspersed at a short distance vertically and horizontally, making hydrogeological complex. In such a complex connection between the collector environment is established if the two lithological elements are equally represented or if sands prevail. In such complexes one or more aquifers with a complex hydraulic mechanism is formed, with different propagation and thickness or different yields. Piezometrical level of aquifers in Tertiary basins is predominantly below surface of the terrain, i.e. the aquifer is of sub-artesian type (Коматина, 1976).

The entire researched space belongs to the Morava hydrogeological area. Otherwise, the Morava hydrogeological areas belong to central and eastern Šumadija. Groundwater is generally drained to the northeast and east, i.e. to the Morava and Danube (Figure 1). Units of lower-order are the basins of the Jezava, the Ralja, Konjska reka and the immediate Danube Basin. In such areas one or more aquifers with a complex hydraulic mechanism is formed. Considering that the sands are characterized by intergranular porosity, existing aquifers are of a compact type. The deeper Neogene sediments north of the direction of Mladonovac - Osipaonica represent not only alluvial plains of the Velika Morava, the Jezava and the Ralja, but the best collectors of groundwater as well. The powerful layers of fine-grained sands of the Danube region of Smederevo have relatively good collector characteristics (ЗГТИ, 1972). The way of recharge of waterbearing strata (layers) in the Neogene is poorly studied. It is assumed that the recharge is made by vertical movement through a semi-permeable top and shelf layers, and in the shallower parts by the infiltration of basin rim. Partially there is a connection with alluvial aquifer of rivers. With the exception of river valleys, Neogene aquifer in other parts of the area is poor in water, limited and with low yields and there is no possibility for forming larger springs. The complex of the Neogene sediments is very interesting from the aspect of using underground water that has been accumulated in its permeable horizons.

### **Aquifer under pressure (artesian aquifer)**

#### *The conditions for the formation of artesian aquifers*

Amphitheatrical position of sediments and frequent alternation of permeable horizons vertically, create favorable conditions for the formation of aquifers under pressure. Artesian and sub artesian horizons in neogene series are defined by drilling a number of wells of greater depth. Aquifer is mainly in the Neogene sands in intercalations of 5-10 m. Aquifers occur at different depths in the form of one or two layers with thickness of a few meters and in some places appear in the form of more sandy intercalations. The water is artesian or sub artesian depending on the topographic surface. In the valleys of the rivers Morava and Ralja it usually occurs as artesian,



and on river terraces, slopes and catchments as a sub artesian. Yield of wells ranges from 4-10 l/s. Only a few wells are with yield over 10 l/s. In the formation of wells several water bearing layers are capped. The mechanism of their charge of waterbearing strata is a part of constant study. The powerful layers of sand, coming out to surface or touching the rim of the basin, enable the recharge of aquifers under pressure.

One part probably gets water by vertical water decantation through the semi-permeable top layers. Certain examples indicate that the aquifer under pressure has a certain connection with the first free (phreatic) aquifer and there is a possibility of deeper aquifers recharge with the water of the first aquifer. In the valley of the Velika Morava researches confirm that there is a hydraulic connection of the first aquifer with flows of active watercourses and through alluvial formations which have a wide distribution in this area. This means that the recharge of these aquifers is directly dependent on hydrological conditions in the area. Deeper waterbearing horizons are recharged even in much more distant areas where waterbearing horizons come to the surface of the terrain or are in direct hydraulic connection with other productive water bearing horizons.

#### *Hydrogeological explorations in the Danube region of Smederevo*

Hydrogeological explorations in the Danube region of Smederevo began in the 19<sup>th</sup> century. Leontije Pavlović says that artesian water began to flow "freely on the surface of the earth from" a depth of 400 m even before 1870<sup>5</sup>. The well about which Leontije Pavlović wrote was adapted in 1923 and converted into a public fountain. There are no data available on the depth, and it is assumed that the water bearing layer is capped at a depth of 307-315 m with a self-effusion of about 0.3-0.5 l/s and temperature of the 27°C. The oldest precise information is related to the creation of artesian wells near the hospital in Smederevo, where four waterbearing horizons were identified by drilling up to 303 meters<sup>6</sup>. Artesian wells and fountains were very important for the development of the old Smederevo. They determined the population, position of markets, restaurants and shops. Their influence stopped with the construction of modern water supply, and only artesian well "Živa voda" near the church preserved the former significance. After World War II more detailed research of numerous deep wells began. For the purpose of finding coal basins, two layers of sand at a depth of 45-100 m and 211-224 m were drilled between the villages Udovice and Petrijevo in 1952. During 1962 and 1963, in the area be-

---

<sup>5</sup> Павловић, Л. (1980.). *Историја Смедерева у слици и речи*. Смедерево, Музеј у Смедереву, посебно издање, књига 13.

<sup>6</sup> S. Radovanović wrote about this back in year 1886.

tween the Velika Morava and the Danube, called Godominsko polje, investigations were carried out, planned by the preliminary design for defense from the waters of the Danube, hoping to slow the Danube floodwaters with the construction of the dam in Đerdap. Four wells were drilled to the bottom of alluvium, then 14 piezometers and 3 wells. For the purposes of water supply of Velika Plana, Smederevska Palanka and Mladenovac, alluvial plain of the Velika Morava near the village Trnovče and Miloševac was explored. Detailed investigation works were carried out during 1969, then in 1974 and 1975. In the late 20th and early 21st century the production of deep exploitation wells was intensified. Deep aquifer is very attractive for water supply of smaller settlements, since this water is of favorable chemical composition. Therefore, in 1987 began the implementation of the project on water supply of settlements that couldn't be connected to the city water supply by the water from aquifers under pressure. Up to date, drilled deep wells have provided water of high biological value. Most of the wells are functional and provide sufficient amounts of clean water for the needs of settlements. Research in Jugovo near Smederevo shows that at depths greater than 300 m a greater amount of artesian water with raised temperature can be expected. Collectors of groundwater are sands (dust, fine grained to medium grained) and in the deeper parts marl limestone and clean Lithothamnion limestone. Hydrogeology insulators are mostly clay, sandy clay, marl and marl clay (Хидропројекат, 1992).

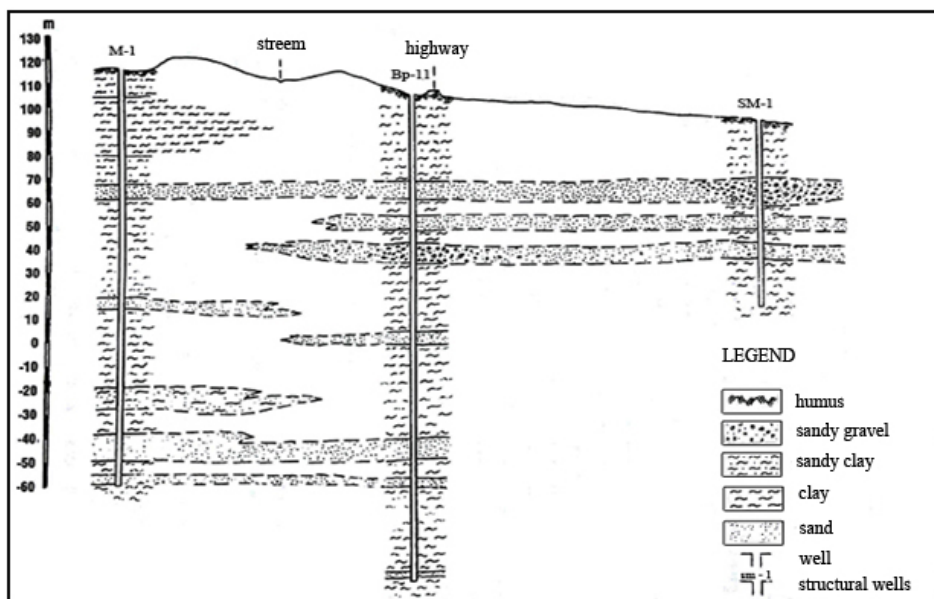


Figure 2 – Hydrogeology profile of the investigation block "Mihajlovac" (first Morava terrace) according to "GEOZAVOD", Belgrade, 1992

*Artesian aquifer in the valley of the Velika Morava*

Morava trench was formed from the lower Miocene to the end of Pliocene. In this trench, in Neogene, thick layers were deposited in a wider area, as well as in the central part of the trench, and in the bays. The oldest Tortonian sediments had been developed around the basins rim, and the younger sediments are located closer to the center, which is a result of inclination of layers towards the center. According to geophysical data depth of Morava trench is about 1800 m (Петковић, 1963). To approximately 700 m of depth sandy marl and deeper clay-marl series exist (Зеремски, 1969). Artesian aquifers were found at several locations by drilling deep wells and exploration wells. Approaching the estuary of the Morava and Danube depth of aquifer increases, and that confirms the fact that there has been a lowering of the Pannonian basin and uplift of its rim.

In the lower part of the Velika Morava valley, within Agricultural Plant "Godomin", two wells were drilled. In older well N-1 waterbearing layer of 155-170 m was capped. Depth of the well is 200 m, static level is 1 + m, self-effusion is 1 l/s. By pumping 3.5 l/s is obtained. With another well, N-2, waterbearing layer of the first well have been isolated, and the whole package of sandy layers of 278-325 m caught, which are here in alternation with layers of clay and clayey sands. The most significant waterbearing layers were established at the following depths: 145-150 m, 155-170 m, 278-293 m, 303-325 m. In the middle of this sandy area aquifer under pressure with better hydrogeological characteristics is formed. Yield of wells is 9.67 l/s. Upstream along the valley of the Velika Morava artesian aquifers in Skobalj, Osipaonica, Lugavčina, Saraorci, Lozovik and Trnovce were detected. In Skobalj a well with the depth of 150 m was drilled, in which the layer of 125-140 m was capped. The static level of the well is positive, and self-effusion is 0.3 l/s. In Osipaonica the depth of artesian well is 130 m. Water bearing layer of 106-120 m is capped. Self-effusion of the well is 0.1 l/s. For wells in Lugavčina, Saraorci, Lozovik and Trnovce there are only data on yields, which range from 0,1-11/s. Medium grained and coarse grained sands identified at a depth of 116-136 m are considered the main water bearing layer (Гео завод, 1990). Hydrogeological characteristics of the first and second river terrace in the western part of the valley of the Velika Morava (Figure 2), was studied by "Geozavod", Sector for geohydrology from Belgrade. The terraces are built of clay, sandy-clay, sandy and gravel sediments, whose thickness fluctuates considerably in the direction west - east. On the second terrace in the locality Jablanovac between Mihajlovac and Osipaonica, several exploration and exploitation wells were drilled for water supply and watering of agricultural areas. The depth of aquifer under pressure ranges from 50 to 203 m. The aquifer is of sub-artesian character, static level is at a depth of 15-54 m, the yield ranges from 4.5 to 12.50 l/s (Гео завод, 1991).

*Artesian aquifer in the valley of the Rajla*

In the valley of the Rajla aquifer under pressure is at various depths, which means that there are more water bearing layers. Artesian aquifer in the sandy-clay sediments of Pannon was discovered upstream of Umčari, in alluvial level of the Rajla. The artesian well was drilled in the area of the highway, with the depth of 160 m, and the piezometric levels above ground. Yield of the well is 0.03 l/s and water temperature is 16-17°C. The following borehole in the valley of the Rajla was made next to the motel "Jerina", near the highway Belgrade - Nis. The first water bearing horizon was discovered in the range of 23-31 m and is made of the sand of various granulation. Due to possible surface impacts on groundwater, this layer was not capped. The second waterbearing layer was drilled in the range of 151-163 m and is represented by the gray fine-grained to medium-grained sand in the upper part and in the deeper parts there are gray dusted to fine-grained sands. This waterbearing horizon was capped. The well has a static level of 11 m above the ground surface, self-effusion of 1.2 l/s was obtained (Нафтагас ООУР Хидросонда, 1989).

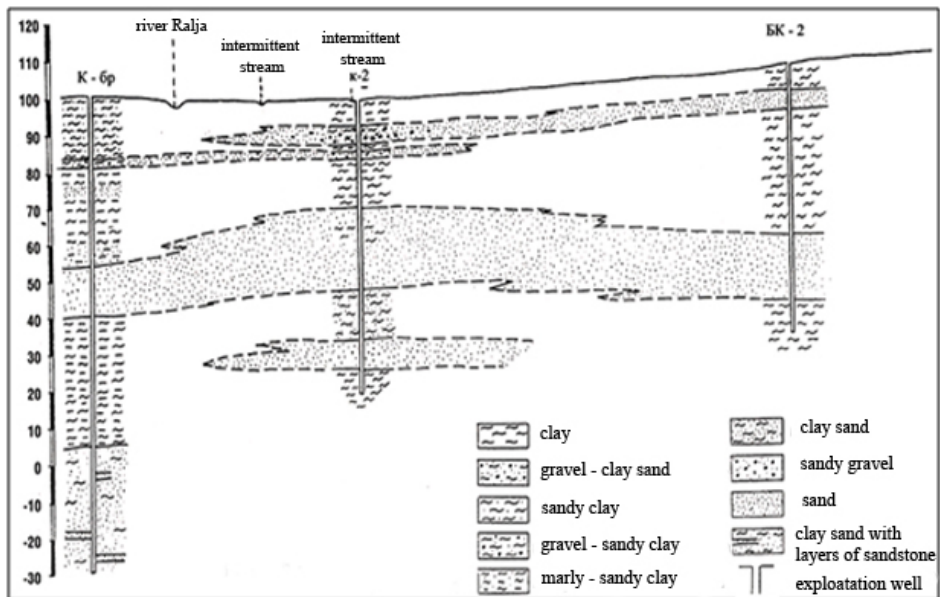


Figure 3 – Hydrogeological profile of the wider area of the block "Kolari" (valley of the Rajla) according to "GEOZAVOD", Belgrade, in 1992

Exploring block Kolari stretches in the lower course of the Rajla on the first river terrace near the left side of the valley. The complex is composed of clay, clay-sandy and sandy-gravel sediments (Figure 3). Towards the south this

formations gradually transform into alluvial sediments, and their propagation in the direction west - east is established along the entire course of the Ralja. The wells have established the existence of three waterbearing horizons. The first waterbearing horizon consists of predominantly fine-grained to coarse-grained sands, rarely gravels. Groundwater is accumulated at the depth of 31 to 50.5 m. The second waterbearing horizon is composed of fine to medium grain gray sands. This horizon has extensive propagation. The depth of the horizon is 65-75 m. Third waterbearing horizon consists of sands with the depth of 160-163 m. Their capture is not justified due to a very small fraction, fine-grained to dust, with far weaker filtration characteristics. In case of derived wells the first two aquifers are capped (Гео завод, 1991). For the purposes of water supply of settlement Kolari the well with the depth of 120 m was drilled on the first terrace of the Ralja in 2002. Three waterbearing horizons with the depth from 56 to 112 m were capped. Maximum yield is up to 8 l/s. The well is with sub artesian pressure up to 4 m from the topographic surface. On the way out of the valley of the Ralja to Morava valley, on the right side of the valley, or "Cvijić" Belgrade surface (120 m), deep well for water supply of Vrbovac was drilled (2002). The terrace is constructed of clay-sandy and sandy Pannon series, and Pliocene formations of Pontic and Pleistocene and Holocene sediments. Series of best quality water supply was capped consisting of fine-grained to coarse-grained Pontic sands. The thickness of waterbearing layers is relatively small, up to 9 m, so several layers of 120-180m were capped. The static level of the well is 40 m meters below the ground surface, and the yield of the well is 3 l/s.

#### *Artesian aquifer on watersheds and flattened areas*

Hydrogeologic conditions, depth of the artesian aquifers and their yield south of the river Ralja, on the watershed of the aforementioned river and flattened surfaces in this part of Šumadija, can be illustrated with the examples of boreholes in Malo Orašje, Badljevica, Drugovac, Suvodol, Lunjevac and Mihajlovac. The first borehole R-3 in Malo Orašje was made in 1963. Upper Pannon sediments were observed from 11 to 84 m, and from 84 to 141 m the ones of the lower Pannon. Yield of the well after several years of observation and considerable fluctuations was stabilized at 1.04 l/s. Considering that this well was not of sufficient capacity to meet the needs of the people of Malo Orašje, another deep well with the depth of 256 m was drilled in 1995. Three water bearing layers were capped. Water bearing horizons were built from medium grain sand. The static level was at 89.92 m. Capacity of the well is 4.5-5.5 l/s (Хидропројекат, 1995). For the need of the village Badljevica BAD-1, a borehole with the depth of 250 m was created in 1989. The terrain is, as in previous boreholes, presented by the Pannons, and consists of sand and marl clay, clay, marl, and sand, predominantly fine-grained and dust. Water is under the sub artesian pressure, static

level is at the depth of 7.13 m from the surface. Hydrodynamic properties of the aquifer due to the presence of fine and dust sediments are quite unfavorable, but the reserves of water are significant. Optimum yield according to the estimation of "Geozavod" is 1 l/s (Геозавод, 1989). In identical geological and geomorphological conditions for the needs of the village Drugovac the well with the depth of 250 m was drilled in 2002. Waterbearing horizons were capped from 113 to 226 m. Hydrostatic pressure was of sub-artesian character and reaches 71.5 m from the topographic surface. The maximum yield of the well is 5.5 l/s. Mihajlovac is a village situated on Golobok –Krnjevo greda on the left side of the valley of the Velika Morava. In Mihajlovac artesian well was drilled in 1991 in which sandy waterbearing horizons from 151 to 164.60 m and 168.3 to 172.65 m were capped. The aquifer consists of medium to coarse grained sands. The well is with the depth of 180 m, yield of 4.5 l/s. Static level is at 13.28 m from the ground surface. In 2007, in Mihajlovac due to the additional need for good quality water, another well on the "Crnici" location was made in which layers from 146-195 m were capped, with the optimum yield of 4.12 l/s (Водоремонт инжењеринг, 2007). For the need of determining the quality of water resources and solving water supply in the village of Dobri Do, which is also placed on Golobok-Krnjevo greda, the activities on the development of the well IEBDD-1/03 started during 2007 and 2008. The analysis of results obtained by drilling exploration wells in Dobri Do confirmed that Pannonian sediments in vertical profile were deployed in multiple layers, layers of clay, sandy clay, clayey sand and sand that ranges from fine-grained to medium-grained alternate. Mining and Geology Faculty in Belgrade, Department of hydrogeology, did hydrogeological mapping of the terrain (Figure 4), tested the wells and performed the chemical analysis of water. Exploitation yield of the well was 3.7 l/s. Layers of sand of fine-grained and medium-grained granulation at the depth of 137 m were capped. On the left side of the valley, north of flow of the Ralja, in the village of Vodanj sub artesian well was drilled in 1988. Sandy layers at the depth of 252-276 m were capped. The water level rose to 33.17 meters from the surface. Yield of the well is 4,5 l/s. For the need of water supply for the village Vučak borehole B-2 was made on Petrijevo surface in 1992. Lithological profile of the well consists of clay materials, extracted as a clean clay or clay with traces of sand. Sand is separated into multiple series and is situated at the depth of between 60 and 116 m and in the final part of the borehole, from 240 to 260 m. Due to the different filtration properties of sands five waterbearing layers were capped at the depth of 65-105 m. The aquifer is sub artesian, with static level of 39.5 m and with the optimum yield of 5,5 l/s (Геозавод, 1989).

Comparative analysis of derived exploratory wells and deep wells drilled in Šumadija hills, south of the river Ralja, concluded that the deep aquifer is of sub-artesian type. Three waterbearing horizons are distinguished. The first one is from 50-80 m, with weaker characteristics, and the second horizon



is between 140 and 170 m. Water is accumulated in the small-grained sands and the best aquifer is the third horizon at the depth of 200-230 m, and consists of medium to coarse grained sands. Yield of artesian aquifers in this area ranges from 4 to 5 l/s. North of the course of Ralja hydrogeological conditions are partially modified. Pontic sediments dominate. Fine-grain, medium-grain and dust sands are distinguished. There is less clay and coal. Due to unfavorable hydrogeological characteristics the multiple layers were capped to obtain the required amount of water.

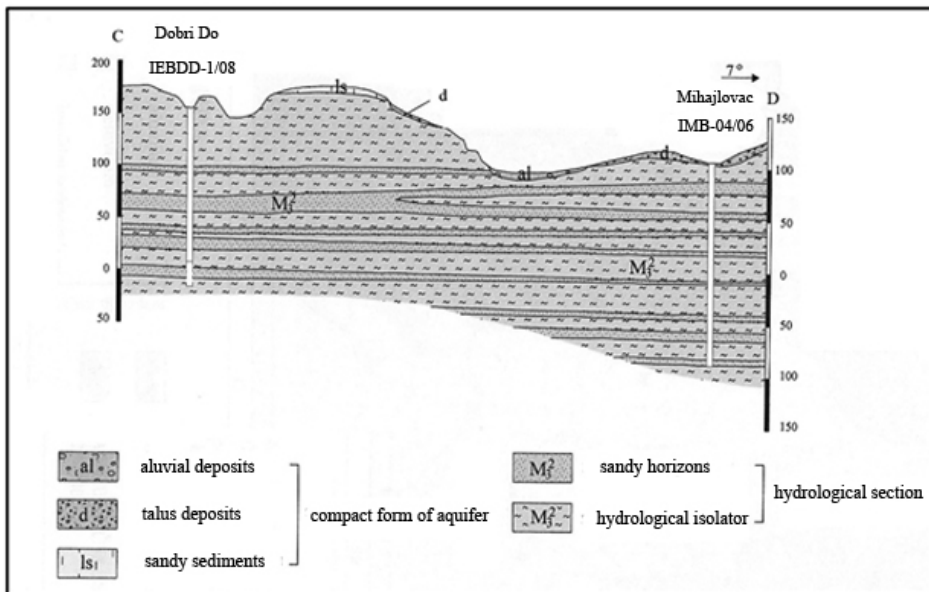


Figure 4 - Hydrogeological cross section between the well IEBDD-1/03 in Dobri Do and well IMB-04/06 in Mihajlovac (Department of Hydrogeology of Mining and Geology faculty, Belgrade, 2008)

#### *Artesian aquifer of the immediate basin of the Danube*

A larger number of drill holes and deep wells in Smederevo and the alluvial plain of the Danube can allow us to perceive the hydrogeologic conditions, depth of the aquifer under pressure and its characteristics. Deep wells on the hospital grounds and a well near the church are used in Smederevo<sup>7</sup>. Four artesian wells were drilled on Jugovo, the right bank of the Danube. According to the geological profile of geothermal wells TM - 1A on Jugovo, the thickness of Tertiary sediments is about 1100 m and lies on the diabase formation of Jurassic age.

<sup>7</sup> Павловић, Ј. (1980.). *Историја Смедерева у слици и речи*. Смедерево, Музеј у Смедереву, посебно издање, књига 13.



This formation at a depth below 1200 m consists of clay stone, sandstones and cherts. Tertiary sediments are from 700 to 1100 m, and consist of clay, marl and sandy sediments (Хидропројекат, 1992). Sarmatian sediments on the hospital grounds are about 300 m, they lie at the depth of 400 to 700 m. Pannonian sediments are represented by gray-green sandy and silty clays and sands and lay across the Pannonian sediments (Хидропројекат, 1989а). In hydro-geology marl and marl clay are distinguished as hydrogeological insulators and sandy marl limestone and pure limestone as hydrogeological collectors. Unlike marl and clay horizons, much more interesting are Tortonian calcareous horizons, distinguished because of their excellent hydrogeological properties (potency and yield) as hydrogeological collectors. With the drilling of the exploration wells TM - 1 / A in the intervals with sandy-marly limestone's (746-760 m) and pure limestones (817-862 m) inflows of water under pressure are registered, which confirmed the hypothesis of the existence of aquifers under pressure in these horizons. Geophysical tests determined the water temperature from the lime collector from 65 to 67 m, which suggests future prospects of limestone aquifers for obtaining thermal water. Above Tortonian series lies Sarmatian packet presented by marly clays, clayey sands and clean sands (Хидропројекат, 1992). There is the Pannonian series with almost identical material above Sarmatian. The significance of the series in hydro-geology enhances the presence of clean sands where the artesian aquifer was formed. Waterbearing sandy marl limestone and pure limestone of the Tortonian were capped, which are at intervals of 746 to 760 m and 817 to 862 m depth. Artesian aquifer is of the exceptional thermal value, the water temperature is 66-67°C. The resulting water is with increased mineralization of 15.83 to 25.8 g/l and high salinity of 24.86 g/l, which provides a taste of sea water. Increase in concentration of biologically active ions of iodine and bromine, as well as elements from the group of heavy metals, provides medicinal properties of the water. Institute for Rehabilitation in Belgrade recommended the use of this water for the treatment of rheumatic diseases (rheumatoid arthritis, arthrosis, spondylosis). In water wells TM-1 / A the presence of methane (56-65%), nitrogen (29-40%), carbon dioxide (0.5 - 4%), hydrogen sulfide (0.5%) was registered. Self-effusion of the borehole is 1 l/s (Хидропројекат, 1992).

On Jugovo, apart from the aforementioned borehole, three artesian wells were drilled. JB-1 is 70 m deep. Water bearing layer of 42-67 m was capped. The well has self-effusion of 1 l/s. JB-2 is an artesian well with the depth of 200 m. Water bearing collector of 178-194 m was capped. Self-effusion of the well is 5 l/s, with water temperature of 24°C. The water is not potable, but it nearly has healing properties. Last borehole was drilled in this part in the village Seone on the right side of the Danube valley. Altitude of the borehole is 200 m, significantly higher than the previous ones. The depth of the borehole is 315 m, water bearing horizons were capped on 171 to 180.5 m and 183-195 m.

## **Discussion**

Previous studies and a large number of exploratory boreholes and wells for water supply of settlements as a whole show the hydrogeological characteristics of the Danube region of Smederevo, as well as the spatial distribution and the size of waterbearing horizon in the Neogene complex (Table 1). Correlating the exploratory boreholes and wells, it is estimated that water use of aquifers under pressure depends on proper definition of territorial representation, the thickness of the collector environment, determining of parameters of water bearing environment, hypsometric position of the collector to the river valleys and the possibility of groundwater recharge. In determining potency of deep aquifers collectors there is a problem of recharge and exploitation estimates. Hydrogeological spacious basins are divided into recharge areas, pressures and discharge. It was emphasized that the area of recharge is in places where deposits of sand come to the surface or lean on the periphery of the basin, which allows the infiltration of rainfall and recharge of deep aquifers. Area of emphasis or exploitation is usually several dozens or hundreds of kilometers away. Between these two areas there is a space under pressure, where there may be a connection between artesian water and the surface, which may be a minimal or even nonexistent. Artesian water is characterized by stable regime and low speed. Annual climatic and meteorological changes also affect the balance and regime of artesian water.

In Smederevo Danube Region compact type of aquifer was developed in the sediments of Neogene deposits of Pannonian age which are mainly made of sands of different ages. Pannonian sediments are spread all over the surface beneath Quaternary formations so it can be said that they entirely encompass geological map of Smederevo. A potential of Neogene deposits according to the basic geological 1: 100 000, map of Smederevo, ranges from 740 to 1550 m, and the thickness of the Pannonian sediments has potency of 160 to 220 m. There is an alternation of hydrogeological collectors constructed from sandy and gravel sediments and hydrogeological insulators that are made of clay formations. In hydrogeological terms the most important waterbearing horizons are those with the sediments of intergranular porosity (medium to coarse grained sands), and in those sediments accumulated groundwater with economic significance for exploitation. A large number of objects in the researched area cap these layers, particularly medium-grained sand. Also in alluvion of the Velika Morava Pannon sediments, which are represented by fine grain and medium-grained sands, are the most important waterbearing layers, which is evidenced by the example of boreholes in Skobalj, Osipaonica, Lugavčina and Saraorci.

Table 1 – Hypsometric position of water bearing horizon, yield and type of deep wells in Smederevo Danube region

| The name of the well                      | Year of construction | Depth of water-bearing horizon (m) | Yield (l/s) | Type of aquifer |
|---|----------------------|------------------------------------|-------------|-----------------|
| Well near the hospital***                 | 1896                 | 303                                | 0,7         | artesian        |
| Well near the church***                   | 1923                 | 307-315                            | 0,5         | artesian        |
| Well between Udovice and Petrijevo*       | 1952                 | 45-100                             | -           | subartesian     |
| Well near the railway station in Vodanj** | 1969                 | 114-120                            | 0,8         | artesian        |
| Well in Kolari**                          | 1969                 | 35,7-38,4                          | 2,0         | artesian        |
| Motel „Jerina“ B-2**                      | 1976                 | 18-30<br>128-136                   | 0,1         | artesian        |
| Jugovo***                                 | 1985-<br>1988        | /                                  | 2           | /               |
| JB-1***                                   | /                    | 176-194                            | 2,5         | artesian        |
| JB-2***                                   | /                    | 42-67                              | -           | artesian        |
| TM-1***                                   | /                    | 268-283                            | 22          | artesian        |
| New well near the hospital B-1***         | 1987                 | 281-310                            | 0,7         | artesian        |
| Jugovo TM-1/A (thermal water)***          | 1987                 | 746-760<br>817-862                 | 1           | subartesian     |
| Well in settlement Vodanj V-1**           | 1988                 | 253-277,8                          | 4,9         | subartesian     |
| Well near the motel „Jerina“ IB-1**       | 1988                 | 151-163                            | 0,6         | artesian        |
| Well in Badljevica BAD-1*                 | 1989                 | 141-155                            | 1           | subartesian     |
| Well in Vučak V-1*                        | 1991                 | 64-116                             | 5,5         | subartesian.    |
| Well in Mihajlovac*                       | 1991                 | 151-172                            | 4,5         | subartesian     |
| Well in Osipaonica****                    | 1991                 | 89,5-111,5                         | 3           | artesian        |
| Well in Škobalj****                       | 1991                 | 144-150                            | 0,2         | artesian        |
| Wells in area of „Godomin“****            | /                    | /                                  | /           | /               |
| H-1****                                   | 1991                 | 155-170                            | 5,5         | artesian        |
| H-2****                                   | 1992                 | 278-325                            | 3,5         | artesian        |
| Jablanovac J-1*                           | 1992                 | 116,3-122,2                        | 9,67        | subartesian     |
| Wells in the area of cellars Kolari K-2   | 1992                 | 65-75                              | 0,7         | subartesian     |
| Well in Badljevica BAD-2*                 | 1994                 | /                                  | 0,3         | subartesian     |
| Well in Drugovac*                         | 1994                 | Up to 200                          | 5           | subartesian     |
| Well in Malo Orašje*                      | 1995                 | 200,9-234                          | 6           | subartesian     |
| Well in Suvodol*                          | 1995                 | /                                  | 5,5         | subartesian     |
| Well in Vrbovac*                          | 2002                 | 50-141                             | 4,5         | subartesian     |
| Well in Kolari**                          | 2002                 | 56-112                             | 8,4         | subartesian     |
| Well in Drugovac*                         | 2002                 | 113-226                            | 5,5         | subartesian     |
| Well in Seone*                            | 2002                 | 58-112                             | 7,5         | subartesian     |
| Well in Petrijevo*                        | 2003.                | 279-315                            | 4,7         | subartesian     |
| Well in Mihajlovac IEBM 4/06*             | 2007                 | 146-194                            | 4,12        | subartesian     |
| Well in Dobri Do IEBDD-1/03*              | 2008                 | 58-136,8                           | 3,7         | subartesian     |

\* Wells on the watersheds and plateaus; \*\* Wells in the Rajje valley; \*\*\* Wells in the immediate catchment area of the Danube river; \*\*\*\* Wells in the valley of the Velika Morava river

Hydrogeological insulators or conditionally arid parts are the sediments from middle and upper Pleistocene, and those sediments are mainly of clay-sandy composition with a variable amount of gravel material. The most widespread type is silty clay, sandy-clay alewives with average potency of 20 m. Within these, there are no conditions for the formation of aquifers, so they are predominantly waterless grounds or hydrogeological insulators. Recharge of aquifers is done in the peripheral parts of Neogene sediments. In these zones, on the contact of Neogene and Preneogene rock masses, atmospheric deposits and surface flows are infiltrated into the sand layers of Pannonian age. Precipitation excreted in this area does not have greater significance due to low permeability of clay that prevents infiltration. In the valleys of the Velika Morava, Ralja and the Danube river and on the lower terraces, flowing of water from other types of aquifers (phreatic) is possible. Topographic surface influences the depth of waterbearing strata and the character of artesian wells.

Great importance for hydrogeology of the entire area has a tectonic of terrain. During tectonic movements in the Middle Miocene, especially at the end of Pliocene, Pontic sediments moved in the southwest-northeast direction. These developments created several blocks with different depths to waterbearing strata, as can be seen from the overview of depth of wells in the Danube region and valleys of the Ralja and Velika Morava river. On the geological map of Smederevo several active faults were observed that have influence on geomorphology, location of waterbearing collectors and the depth of aquifers. Smederevo-Ćuprija fault that stretches along the western rim the valley of the Velika Morava should be emphasized, fault-Pančevo-Smederevo Požarevac, about 140 km long, and of great significance are faults of Azanja, Jasenica and Ralja, which stretch along the valley of the Ralja towards West east, which is known from the works of P. Stevanović (1949). Geophysical research has revealed numerous transverse faults of which the most important is Grocka-Kolari, whose direction in azimuth is 110°.

The division of the Danube region of Smederevo on the four smaller hydrogeological units is derived from previous results and characteristics of the tested wells that is functionally related to the topographic surface and geological composition of the terrain. The depth of waterbearing strata in the Velika Morava valley is increasing to the point of confluence with the Danube due to lowering of the Pannonian basin and uplift of its rim. Proximate river basin of the Danube and the Danube region of Smederevo are characterized by deep aquifer of artesian type. All the wells have a hydrostatic pressure above the surface, and self effusion of different yield potentials. Deep well TM-1 / A of Jugovo provides water with increased mineralization and high salinity (the taste of sea water), which indicates the confirmation of the geological history and the tectonic movement in this area.

### **Conclusion**

In the area of the Danube region of Smederevo annual precipitation is of 660 mm of rainfall, or 320 million m<sup>3</sup> per year. Most of the river dries up and there is a large number of temporary water flows. The Danube and the Velika Morava river are important waterways, but their potential is underused because of heavy pollution. The situation with the smaller streams in the interior area is more serious. Therefore, the population is directed towards groundwater for the need of water supply. However, phreatic aquifer has recently been exposed to stronger pollution and, as the possibility, only deeper aquifer remained. The potential of deep aquifer is large, but not sufficiently researched. In the future, Smederevo will have to increase the production of drinking water by about 20% for the supply of urban and rural population. In the alluvial plains of the Velika Morava and the Danube river there is sufficient amount of water, but the problem is to ensure its quality. So, the problem of water supply in the Danube region of Smederevo, as well as in the entire Serbia, is not quantitative but qualitative. Integrally and sustainable management of water resources in one area should be based on integration of all available resources and their rational use, for different users and purposes, rather than insisting that all users at all costs should integrate around a single water resource.

**References (see at page 60)**