Бранко Миладиновић*, **Соња Ђокановић**, Геолошки завод
Србије, Београд

Branko Miladinović, Sonja Đokanović, Geology Survey of Serbia,
Belgrade

ХИДРОГЕОЛОШКЕ ОСОБЕНОСТИ БАБУШНИЧКЕ (ЛУЖНИЧКЕ) КОТЛИНЕ У ИСТОЧНОЈ СРБИЈИ

SPECIFIC HYDROGEOLOGICAL FEATURES OF THE BABUŠNICA (LUŽNICA) BASIN IN EASTERN SERBIA

Сажетак: Бабушничка котлина у пиротском крају представља међу-планинску депресију коју испуњавају седименти горњоолигоценске (O_3) и плиоценске (Pl) старости. Дуж реке Лужнице која протиче котлином, формиране су алувијалне творевине (al) и речне терасе (t).

Са хидрогеолошког аспекта, горњоолигоценски и плиоценски седименти нису у досадашњем периоду детаљније истраживани. Познато је да је у плићим деловима плиоценске серије (у седиментима до дубине 20 m), формирана „прва“ издан. Филтрационе карактеристике водоносних прослојака и сочивима ситнозрних пескова и шљункова, крећу се у границама $k=6,5 \times 10^{-6}$ - $1,1 \times 10^{-5}$ cm/s.

Водоносност алувијалних пескова и шљункова реке Лужнице (al) је нешто већа у односу на плиоценске седименте ($k=1 \times 10^{-5}$ – 1×10^{-3} cm/s).

Хидрохемијским испитивањима подземних вода у бабушничкој котлини у периоду 2013/2017. године, утврђено је да их најчешће карактерише хемијска неисправност посматрано за потребе јавног водоснабдевања. У највећем броју случајева су присутна прекорачења МДК за садржаје: нитрита (NO_2), амонијум јона (NH_4), оксидабилности ($KMnO_4$), гвожђа

* branko.miladinovic@gzs.gov.rs

(Fe), мангана (Mn). Поред тога, подземне воде из плиоценских седимената имају прекорачење садржаја бора (B). Услед ових околности, јавно водоснабдевање становника Бабушнице и 24 села на територији ове општине, врши се на рачун подземних вода које се захватају у југозападном ободном делу бабушничке котлине, односно са Лужничких врела у Љуберађи.

Abstract: The Babušnica basin near the city of Pirot is a mountain depression composed of Late Oligocene (Ol₃) and Pliocene (Pl) sediments. There are alluvial (al) formations and terraces (t) along the Lužnica River, which flows through the depression.

From a hydrogeological perspective, the Late Oligocene and Pliocene sediments have not been explored in detail. What is known is that the shallow ("first") aquifer is formed in the upper Pliocene strata (sediments up to a depth of 20 m). The hydraulic conductivity of the water-bearing interbeds and lenses of fine-grained sands and gravels is in the range from $K=6,5 \times 10^{-6}$ to $1,1 \times 10^{-5}$ cm/s.

The water-bearing capacity of the alluvial gravels and sands (al) of the Lužnica River is somewhat higher than that of the Pliocene sediments ($K=1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-3}$ cm/s).

Hydrochemical analyses of groundwater from the Babušnica basin, conducted from 2013 to 2017, frequently revealed non-compliance with drinking water standards. In most cases, the samples exceeded threshold values for nitrites (NO₂), the ammonium ion (NH₄), oxygen demand (KMnO₄), iron (Fe), and manganese (Mn). In addition, groundwater from the Pliocene sediments exceeded permissible boron (B) concentrations. As a result, public water supply in the town of Babušnica and 24 villages in Babušnica Municipality relies on groundwater extracted along the southwestern edge of the Babušnica basin and the Lužnica springs in Ljuberadja.

Кључне речи: Бабушничка котлина, подземне воде, водоснабдевање, хемијски састав

Key words: Babušnica basin, groundwater, drinking water supply, chemical composition

УВОД

Бабушничка или Лужничка котлина како се још среће термин у стручној литератури, представља међупланинску депресију која је током олигоцена (пре оквирно 23-34 мил. година), формирана између карстних планинских масива Суве планине на западу, Пасјаче на истоку и Руј планине на југу. Овим радом је анализиран

њен централни и северни део, односно простор од Раљина на југу до Горњег Стрижевца на северу. На овом простору, котлина има приближну површину од 75 km². Административни центар ове области је Бабушница, варошица са оквирно 4,5 хиљада становника која територијално припада пиротском округу.

Кроз котлину и саму Бабушницу, пролази магистрални пут који повезује Лесковац и Пирот, два значајнија привредна центра јужне и источне Србије.

У анализираном делу бабушничке котлине је формирано 18 сеоских насеља и истоимена варошица. Централизовано водоснабдевање ових насеља ранијих година је било проблематично због слабе водоносности седимената који испуњавају саму бабушничку котлину. Поред ограничених резерви, проблем је представљао и квалитет подземних вода посматрано са аспекта коришћења вода за јавно водоснабдевање.

Због свега тога, проблем водоснабдевања становништва је данас заснован искључиво на квалитетним карстним подземним водама које се захватају из југозападног обода бабушничке котлине (са Лужничких врела у Љуберађи). Заправо Бабушница и 24 села на територији ове општине су прикључена на магистрални цевовод који од Љуберађе води ка Нишу. Поред тога, у појединим сеоским насељима постоје паралелно изграђени и мањи локални водоводи, којима се такође захватају подземне воде из непосредног обода бабушничке котлине. То су села: Сурачево, Братишевац, Доње Крњино, Горњи Стрижевац, Дучевац и др.

ОПШТА ОБЕЛЕЖЈА ПОДРУЧЈА

Бабушничка котлина има надморску висину од 470 до 520 m. Карактерише је умерено континентална клима са израженим утицајем планинског варијетета. За анализирани двадесетогодишњи временски период (1997-2016. година), просечна сума годишњих падавина је износила 700 mm воденог стуба. Током 2010. године, забележен је екстремни максимум обзиром да је регистрована годишња сума падавина од скоро 1000 mm воденог стуба. Падавине на месечном нивоу могу износити 1 mm воденог стуба или чак 211 mm, колико је забележено током августа 2002. године.

За исти анализирани временски период (1997-2016. година), просечна годишња температура ваздуха је износила 11,2°C. Година са неуобичајено ниским температурама је била 2012-та. Током јануара и фебруара, дневне температуре ваздуха су се спустиле и до -22°C. Екстремно висока дневна температура ваздуха, регистрована је 24. 07. 2007. године и износила је 41°C.

Због појава обиља подземних вода по ободу басена (извора и карстних врела), у самој бабушничкој котлини је формиран изворишни-горњи део слива Лужничке реке. Лужница формира свој ток у североисточном делу котлине и то највећим делом од вода са карстних врела у Радошевцу и Горњем Крњину. Део тока Лужнице кроз бабушничку котлину је са благим падом корита и са добро развијеном хидрографском мрежом првенствено левих притока.

У југозападном делу котлине, Лужница код Горчинаца напушта котлину и низводније до Љуберађа је изградила клисуру кроз кречњаке доње креде. Због каскадног пада корита, прави и мање слапове код Љуберађе (Комарички вир).

Дневни протицаји Лужнице код Горчинаца регистровани у периоду септембар 2015. – октобар 2016. године, приказани су на слици 1.

Слика 1 Дијаграм дневних протицаја реке Лужнице (Q) код Горчинаца у периоду сеп. 2015/ окт. 2016. године

Figure 1 Daily discharges (Q) of the Lužnica River at Gorčinci (Sept. 2015 to Oct. 2016)

ГЕОЛОШКА ЕВОЛУЦИЈА БАБУШНИЧКОГ БАСЕНА

Бабушнички басен испуњавају горњоолигоценски (O_3) и плиоценски седименти (Pl), слика 2, који леже дискордантно преко стена палеорељефа ($K_1^{3,4}$ и K_2^3).

Стене доње креде ($K_1^{3,4}$) су представљене банковитим и слојевитим кречњацима који местимично прелазе и у лапоровите кречњаке. Чине западни - ободни део бабушничког басена.

Стене горње креде (пешчара и конгломерата сенона K_2^3), јављају се дуж источног обода басена, на простору од Ваве па према северу ка Калуђерову и Радошевцу.

Током олигоценске епохе (период од пре 33,9–23,3 мил. година), бабушнички басен је био заглављен језерским водама, чиме су били створени услови за стварање олигоценских седимената. Иначе током ове геолошке епохе, одвијао се брзи развој фораминифера, пужева, шкољака, остракода као наставак процеса из раније епохе. На копну се наставио развој сисара који је почео још у еоцену (Е). Појавили су се тада и први праслонови, усконосни мајмуни и први човеколики мајмуни.

Током седиментационог циклуса који се одвијао у горњем олигоцену (O_3), формирани су у бабушничком басену плочасти и листасти лапорци и глинци, затим алевролитски пешчари и ређе конгломерати који се јављају у нижим деловима ове јединице (Вујисић, 1971). У овим седиментима је пронађено преко 70 родова и врста фосилне флоре. Међу њима се могу споменути само неке форме: *Quercus neriifolis*, *Acacia sotskiana*, *Bumalia minor*, *Zizyphus zizyphoides*. Од великог броја фосила рибе, у подручју Дучевца је издвојена врста *Emerdius macrurus* и *S. minutus* (Анђелковић, 1970). Дебљина олигоценских седимената је по процени већа од 300 m.

Крајем горњег олигодена (O_3), долази до регресије воде из бабушничког басена и тај простор постаје копно. У овом периода егзистовања басена, током средњег миоцена M_2 (оквирно пре 10 мил. година), долази до мањих вулканских ерупција што је праћено изливима амфиболских андезита (α) у северозападном делу басена (шире подручје села Проваљеник).

До поновне трансгресије вода у бабушнички басен, долази почетком плиоцена Pl (оквирно пре 5,3 мил. година). У то доба (уопште у морима и „слатким“ водама у Свету), живот је иначе био

Слика 2 Хидрогеолошка карта бабушничког басена у источној Србији

Figure 2 Hydrogeological map of the Babušnica basin, eastern Serbia

обликован готово једнако као и данас. На копну су се брзо развијали сисари, појавиле су се мачке, пси и медведи, а на простору Африке се појавио први предак човека (*Australophitecus*).

Плиоценски седименти у бабушничком басену су представљени крупнозрним жутим песковима, сиволавим глинама, лискуновитим трошним пешчарима, песковитим глинама и шљунковима (Вујисић, 1971). Дебљина им прелази 200 m.

Стварање најмлађих квартарних седимената у бабушничком басену, био је везан за процесе ерозије и денудације на стрмим планинским падинама и дуж речних токова. Од гентских типова су издвојене колувијалне насlage (сипари посебно на западним падинама Стола), затим алувијалне насlage дуж тока Лужнице, Столске реке и др., док се од морфолошких типова јављају речне терасе.

Алувијалне насlage дуж тока реке Лужнице у бабушничкој котлини се простиру на дужини од приближно 14 km. Највећу ширину имају у самој Бабушници и то од 700 m.

Дебљина алувијалних наслага је најчешће у границама 2,5-4 m, а највећа је у самој Бабушници где максимално износи 7,6 m.

РАЗВОЈ САВРЕМЕНИХ ПРОЦЕСА И ПОЈАВА У БАСЕНУ

На простору бабушничког басена интензивно су развијени савремени егзогеодинамички процеси. Најзаступљенији су процеси клижења и јаружања док су знатно мање развијени процеси плављења, флувијалне ерозије, одроњавања и осипања.

Клизишта су највише заступљена у језерским неvezаним (песак, шљунак и глина) седиментима плиоценске старости док су мање заступљена у језерским vezаним седиментима (глинци, лапорци и алевролити) олигоценске старости. Најмање клизишта има по ободу бабушничког басена који је изграђен углавном од карбонатних стена, карбонатно-кластичних и кластичних стена.

Најинтезивнији процеси клижења развијени су у горњем делу села Извор, на левој долињској страни Лужнице, у Калуђерову и Камбеловцу. На овим локацијама су регистрована најизраженија клизишта, а клижењем су угрожени путеви, куће и пољопривредно земљиште.

У горњем делу села Извор на локацији Селиште, регистровано је клизиште издуженог облика, дужине око 230 m и ширине око 90 m у ножици. Клижење се сезонски обнавља после већих падавина или након наглог топљења снега.

На левој долињској страни Лужнице, између Бабушнице и Доњег Стрижевца, формирано је велико умирено клизиште. У оквиру тела клизишта, на хипсометријски вишем нивоу, формирано је велико забарење из којег се вода процеђује током целе године. У

ниже делове падине, ова вода активира процес клижења (слика 3). Клизисте је површине око 50 ha.

Слика 3 Забарење у телу умиреног клизиста код села Извор
(фото С. Ђокановић)

Figure 3 Water-logged body of a passive landslide near the village of Izvor
(photo by S. Đokanović)

У селу Калуђерево формирано је активно клизисте у челенци јаруге (слика 4). Клизисте је дужине око 350-450 m и максималне ширине око 150 m. У телу клизиста су видљиве деформације и формирано је забарење.

Клизисте у Камбеловцу формирано је у песковито-шљунковито-глиновитим језерским седиментима на самом контакту са карбонатно-класичним стенама. Клизисте је плитко, дужине око 150 m и ширине око 125 m. На падини су видљиви секундарни ожиљци висине 10-20 cm (Ђокановић, 2017).

Процеси јаружања су интензивно развијени у језерским седиментима бабушничког басена и обично су удружени са процесима клижења. Јаружање је праћено и бујичном активношћу. Бујична активност је највећа у време великих падавина или наглог отапања снега. Тада долази и до акумулације покренутог материјала у нижим деловима падина.

У оквиру алувијона Лужнице честа су плављења и појава забарења услед високог нивоа подземне воде док у нерегулисаним

Слика 4 Активно клизиште код села Калуђерово
(фото С. Ђокановић)
Figure 4 Active landslide near the village of Kaluđerovo
(photo by S. Đokanović)

деловима корита долази до разарања и обрушавања обале реке и њеног проширења односно до флувијалне ерозије. При томе се однет материјал таложи на супротној страни корита. Посебно је ово изражено у делу тока од села Горчинци до села Доње Крњино.

У ободном делу бабушничког басена испод стрмих одсека долази до одроњавања и осипања стена услед њихове испуцалости и издељености. То је посебно изражено у долини Лужнице у делу око Љуберађе.

ПОДЗЕМНЕ ВОДЕ БАБУШНИЧКЕ КОТЛИНЕ

У протеклом периоду, наменска хидрогеолошка истраживања у циљу утврђивања водоносности седимената бабушничке котлине, изведена су у јако скромном обиму и одговарају нивоу основних проспекцијских истраживања.

Резултати новијих хидрогеолошких истраживања спроведених у периоду 2013/2017. године за потребе израде Основне хидрогеолошке карте лист „Бела Паланка“ 1:100.000 (Миладиновић, 2018), указују да терени бабушничке котлине изграђени од горњоолиго-

ценских лапораца и глинаца (Ol_3), представљају слабоводоносну средину (слика 2).

Нешто бољу средину за акумулирање подземних вода у оквиру горњоолигоценске серије, чине алевролитски пешчари. У њима је формирана „прва“ издан, која се дренира преко слабо издашних извора, обично издашности $Q < 0,1$ l/s. Овим подземним водама се најчешће подмирују основне потребе сеоских домаћинстава за водом. Захватају се на изворима, а много чешће из копаних бунара.

За плиоценску серију седимената (Pl), сматра се да водоносну средину у доњем делу чине крупнозрни жути пескови са сочивима песковито-лапоровитих кречњака. У вези водоносности плиоценске серије, Чубриловић (1969) истиче да је у самој Бабушници изведена истражна хидрогеолошка бушотина до дубине 360 m и наводи: *„Извештај о бушењу није сачуван али се зна да је даље истраживање прекинуто јер нису утврђене акумулације подземних вода. Бушотином је откривен стенски комплекс глиновитих пескова и глина у коме преовлађују глиновити пескови?“*.

Горњи део серије представља хидрогеолошки комплекс који чине водонепропусне сивоплаве глине и песковите глине, а водопропусни лискуновити трошни пешчари и шљункови. Ови седименти су нешто боље истражени у централном делу басена, односно у самој Бабушници. На основу података Лазића (1990), избушено је укупно 13 истражних бушотина дубине од 10 до 20 m. Овим истражним бушењем је доказано да завршну плиоценску серију изграђују сиво-зелени и смеђи лапори и лапоровите глине смеђе-жуте и сиве боје. У хидрогеолошком погледу, ово су практично водонепропусне творевине. На четири локације је утврђено такође да се у оквиру лапоровите серије јављају прослојци и сочива песка и шљунка (табела 1).

Копани бунари у којима је регистрована „прва“ издан у плиоценским седиментима бабушничке котлине, имају дубину најчешће од 11 до 11,5 m. У Горњем Стрижевцу, изданска зона је дебљине 4-4,7 m, а у Дучевцу и Камбеловцу 5,5-6 m (Миладиновић, 2018).

У осталим деловима бабушничке котлине у нешто плићим копаним бунарима су констатоване изданске зоне и то по дубини од 1 до 3 m. У појединачним случајевима су утврђене и дебље изданске зоне: село Горчинци (3,5 m), Вава (3,5-4,8 m), Камбеловац (4 m), Проваљеник (4,7 m).

Табела 1 Водоносни хоризонти у плиоценској лапоровитој серији утврђени истражним бушењем у Бабушници (Лазич, 1990)

Table 1 Water-bearing horizons of the Pliocene marly series determined by exploratory drilling in Babušnica (Lazić, 1990)

Локација	Бушотина	Дубина (m)	Интервал (m)	Литолошки састав	Коеф. филтрације по USBR-у к (cm/s)
ул. Београдска	В-2	20	2,9-3,6 8,5-11,0	Песак ситнозрн, заглињен, лимонитисан, слабо збијен; Песак, ситнозрн до прашинаст;	$6,8 \times 10^{-5}$ /
ул. Београдска	В-6	20	2,8-4,0 5,2-7,6 8,5-12,0	Песак, ситнозрн до прашинаст; Песак, ситнозрн до прашинаст, заглињен; Песак, ситнозрн до прашинаст, слабо шљунковит;	$2,0 \times 10^{-5}$ / /
Манастириште	В-7	15	3,6-5,0 5,0-7,6	Шљунак, ситнозрн досредње-зрн, песковит, заглињен; Песак, ситнозрн до средње-зрн;	$1,1 \times 10^{-5}$ $4,0 \times 10^{-5}$
Јужна падина	В-12	20	0,0-5,0	Песак	$6,5 \times 10^{-6}$

Извори који дренирају „прву“ издан формирану у плиоценским седиментима бабушничке котлине, имају релативно малу издашност која је најчешће $Q < 0,5$ l/s, с тим да су бројни извори са $Q < 0,1$ l/s. Изузетак у овом смислу је извор „Чесма“ (слика 2), каптирани извор за сеоску чесму у Вави са издашношћу од 1,5 l/s (08.09.2014. год).

Узевши у целини, колекторска својства прашинастих пескова и заглињених шљункова горњег дела плиоценске серије је слаба, као што је то и потврђено истраживањима у Бабушници (табела 1) и спроведеног мониторинга подземних вода „прве“ издани.

У алувијалним наслагама (al) и терасним наслагама (t) Лужнице у бабушничкој котлини, формиран је збијени тип издани. Површина ових наслага је приближно $16,5 \text{ km}^2$.

Алувијалне насlage су представљене изразито заглињеним песковима и шљунковима. Најзначајнији утицај на то има површинско спирање и бујично засипање алувијалних наслага материја-

лом који настаје распадањем и ерозијом плиоценских седимената бабушничке котлине, а ради се првенствено о глинама, глинцима, лапорцима и глиновитим пешчарима и песковима. Значајан допринос томе даје и релативно благи уздужни пад тока Лужница у том делу слива, а то се одражава на спорији отицај (Чубриловић, 1969).

У подручју Доњег Стрижевца, Бабушнице, Драгинца и Горчинца, алувијалне наслага изграђују прашинасто-песковите и глиновите творевине које леже преко танко слојевитих шљункова и пескова. У Доњем Стрижевцу, укупна дебљина алувијона износи 5,5 m, а дебљина шљункова 0,5 m.

У централном делу бабушничке котлине, алувијалне наслага су најбоље истражене у самој Бабушници. Дуж леве обале Лужнице, дебљина алувиона се креће од 2,6 m до максималних 7,6 m. У погледу водоносности, најзначајније обележје им даје песковити и местимично шљунковити слој.

Пескови су обично ситнозрни до прашинасти и заглињени, а ређе средњезрни и шљунковити. Дебљина им варира од 0,6 до 5,6 m. Према подацима Лазића (1990), коефицијенти филтрације пескова су у границама $k = 3,3 \times 10^{-6} - 3,0 \times 10^{-4}$ cm/s.

Слој шљунка у литолошком стубу алувијалних наслага је обично дебљине од 0,4 до 0,7 m. Шљунак је ситнозрн до средњезрн и песковит.

Низводније од Бабушнице, у подручју Драгинца, дебљина алувијона Лужнице се креће око 3,5 m, при чему је дебљина шљункова 1 m. У јужнијем делу бабушничке котлине, у подручју Горчинца, дебљина алувијалних творевина је преко 3 m, с тим да је дебљина повлатних прашинасто-песковитих наслага 2 m (Чубриловић, 1980).

Посматрано у целини, коефицијенти филтрације алувијалних наслага Лужнице се крећу у границама $k = 1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-3}$ cm/s (Чубриловић, 1969), што их сврстава у средину са осредњим до слабим хидрогеолошким својствима.

Резултати добијени мониторингом нивоа подземних вода у алувијалним творевинама код Драгинца и Доњег Стрижевца (слика 5), указују да су констатоване осцилације зависне од режима водостаја реке Лужнице и да се ради о приобалном типу режима подземних вода.

Као што је већ истакнуто, по ободу бабушничке котлине, јављају се јако издашна изворишта подземних вода. Дуж западног

Слика 5 Корелативни дијаграм осцилација нивоа подземних вода (h) у алувијону Лужнице у бабушничком басену (једномесечна мерења), суме месечних падавина (P) на к.с. „Бабушница“ и дневних протицаја Лужнице (Q) на профилу код Горчинаца\ (Миладиновић, 2018)

Figure 5 Correlation among groundwater level fluctuations (h) in the Lužnica alluvium (monthly observations), monthly precipitation totals (P) at the Babušnica rain-gauging station, and daily discharges (Q) of the Lužnica at Gorčinci (Miladinović, 2018)

обода котлине, дренаирање карстне издани се врши преко следећих карстних врела и извора:

– Лужничка врела (врела у Љуберађи, слика 6), у периоду мониторинга 2015-2016. год., регистрован је 09.11.2016. године $Q_{\max}=3680$ l/s и 21.03.2016. године $Q_{\min}=499,09$ l/s (Миладиновић, 2018);

– врело Бигар (Камбелевац, слика 7) у периоду мониторинга нов. 2004 – дец. 2005. год., регистрован је $Q_{\max}=4,3$ l/s и $Q_{\min}=0,9$ l/s (Злоколица-Мандић, 2006);

– извори у Сурачеву са просечном издашношћу од 1-2 l/s.

Дуж источног обода бабушничке котлине, значајнија изворишта карстних подземних вода су:

– врело „Стол“ (село Стол) са $Q_{\max}=42$ l/s и $Q_{\min}=3$ l/s у периоду мониторинга сеп. 2004 – нов. 2005. године (Злоколица-Мандић, 2006);

Слика 6 Каптажа на једном од Лужничких врела код Љуберађе
(фото Б. Миладиновић)

Figure 6 Spring box on one of the Lužnica springs near Ljuberađa
(photo by B. Miladinović)

Слика 7 Врело Бигар код Камбелевца
(фото Б. Миладиновић)

Figure 7 Bigar Spring near Kambelevac
(photo by B. Miladinović)

- врело Дренча (Дучевац) са просечном издашношћу од 2 l/s;
- врело у Радошевцу са $Q_{\max}=18,57$ l/s и $Q_{\min}=3,28$ l/s у периоду мониторинга 2015-2016. године (Миладиновић, 2018);
- врело у Горњем Крњину са $Q_{\max}=23,34$ l/s и $Q_{\min}=4,61$ l/s у периоду мониторинга 2015-2016. године (Миладиновић, 2018), слика 8.

Слика 8 Каптирано врело у Горњем Крњину
(фото Б. Миладиновић)

Figure 8 Captured spring at Gornje Krnjino
(photo by B. Miladinović)

Најзначајнији извори који дренају пукотинску издан формирану у сенонским стенама (K_2^3) такође дуж источног обода бабушничке котлине су: Идризова чесма код Калуђерева ($Q=0,27$ l/s); извори у подножју врха Брандел код Калуђерева ($Q=1-3$ l/s); извор „Једно дрво“ на периферији села Вава ($Q=0,25$ l/s).

ХЕМИЈСКИ САСТАВ ПОДЗЕМНИХ ВОДА

Хидрохемијска испитивања подземних вода из аливијалних наслага реке Лужнице, вршена су у Доњем Стрижевцу и Драгинцу и то из 3 копана бунара.

Ради се о мало минерализованим подземним водама ($M=621,2-733,3$ mg/l), које по класификацији Алекина припадају хидрокарбонатној класи, калцијумској групи I, II или III типа (Ca_I , Ca_{II} ,

Ca_{III}). Према класификацији Клут-а, спадају у ред доста тврдых до тврдых вода, а на основу рН вредности припадају слабо киселим до слабо базним подземним водама (табела 2).

Табела 2 Резултати хидрохемијских испитивања подземних вода из алувијона реке Лужнице у бабушничкој котлини током 2013. и 2015/2016. године

Table 2 Results of hydrochemical testing of groundwater from the Lužnica alluvium in the Babušnica basin (2013 and 2015/2016)

Локација	Основни јон. састав (mg/l)	Испитивани параметри (mg/l)	Испит. микроелементи (mg/l)
Д.Стрижевац Драгинац	Na= 32,7-59,8; K= 1,3-3,3; Ca= 100,2-137,5; Mg= 9,9-15,2; HCO ₃ = 330,6-469,7 Cl= 33,7-69,5; SO ₄ = 11,7-71,0;	NO ₃ = 0,29-7,97; NO ₂ = <0,01-0,07; NH ₄ = <0,1-0,28; SiO ₂ = 7,6-13,2; PO ₄ = 0,254-0,314; Fe= <0,05-0,85; Mn= <0,02-0,05; pH= 6,95-7,54; KMnO ₄ = 4,7-14,1; Ep= 450-640 (μS/cm); Твр.=16,5-22,7°dH; M= 621,2-733,3	Hg, Sn <0,0005; Ni<0,08; As=0,0005-0,0009; Li, Cu, Co <0,04; Rb, Cd, Cr <0,03; Pb<0,01; Al=<0,01-0,22; Zn, Ba, Cs <0,05; B=<0,1-0,3; Sr=0,28-0,39

Радиоактивност ових подземних вода је ниска и креће се за радон Rn=0,96-5,98 Bq/l и за радијум Ra <0,05 Bq/l.

Према обиму испитиваних параметара хемијског састава (табела 2), утврђени су садржаји појединих параметара изнад МДК воде за пиће (Сл. гласник Р. Србије 42/98) чиме је њихова употреба ограничена. Њихов приказ је дат графички и то за сваки испитивани локалитет у оквиру бабушничке котлине (слика 9).

Током мониторинга хемијског састава подземних вода (2015/2016. године), температура подземних вода је варијала у границама 11,9 - 15,9°C. Након обимних киша, приметно је благо замућење подземних вода и то у бунарима који су ближи кориту Лужнице.

У погледу хемијског састава, током сушног периода када се одвија базно истицање подземних вода из издани, уочено је код Доњег Стрижевца повећање садржаја: гвожђа Fe=<0,05→0,85 mg/l (МДК=0,3 mg/l), амонијум јона NH₄=<0,1→0,28 mg/l (МДК=0,1 mg/l), нитрита NO₂=<0,01-0,07 mg/l (МДК=0,03 mg/l). Повећано присуство нитрита у води указују на оксидацију амонијака и знак је неадекватне дезинфекције бунара.

У микрокомпонентном хемијском саставу, сви испитивани параметри су испод прописаних вредности МДК, са напоменом да су садржаји никла (Ni) и кадмијума (Cd), одређивани са границом детекције која је изнад норми МДК (табела 2).

Слика 9 Графички приказ хемијских параметара чији садржај прелази МДК у испитиваним подземним водама за пиће бабушничког басена

Figure 9 Graphic schemes of chemical parameters which exceed the allowed maximum concentration in examined drinkable groundwaters of Babusnica basin

Хидрохемијска испитивања подземних вода из плиоценских седимената (PI) бабушничке котлине, вршена су у Калуђереву, Горњем Стрижевцу и у Александровцу (2013. и 2015/2016. год.). Ради се генерално о мало минерализованим подземним водама, с тим да је у Горњем Стрижевцу у копаном бунару Бобана Ђорђевића вода са минерализацијом од 1012 mg/l, што је сврстава у минералне воде.

По класификацији Алекина, испитиване подземне воде припадају хидрокарбонатној класи, калцијумској групи I, II или III типа (C_{I}^{Ca} , $C_{\text{II}}^{\text{Ca}}$, $C_{\text{III}}^{\text{Ca}}$). Према класификацији Клут-а, спадају у ред доста тврдих до врло тврдих вода, а на основу рН вредности, слабо су киселе до слабо базне (табела 3).

Табела 3 Резултати хидрохемијских испитивања подземних вода „прве“ издани у плиоценским седиментима (Pl) бабушничке котлине (2013. и 2015-2016. год.)

Table 3 Results of hydrochemical testing of groundwater from the shallow aquifer in Pliocene (Pl) sediments of the Babušnica basin (2013 and 2015-2016)

Локација	Основни јон. састав (mg/l)	Испитивани параметри (mg/l)	Испит. микроелементи (mg/l)
Калуђерово Г.Стрижевац Александровац	Na= 5,1-51,7; K= 0,3-18,9; Ca=92,8-202,4; Mg= 7,2-53,2; HCO ₃ = 299,0-664,9 Cl= 5,0-195,0; SO ₄ = 1,9-87,5;	NO ₃ = 0,18-16,39; NO ₂ =<0,01-0,286; NH ₄ =<0,1-1,92; SiO ₂ = 7,6-22,0; PO ₄ =0,023-0,748; Fe=0,06-0,1; Mn= <0,02-0,23; pH=6,56-7,22; KMnO ₄ =<0,3-31,6; Ep=340-860 (μS/cm); tvr=14,8-32,5°dH; M=460,3-1012,0	Hg, Sn <0,0005; Ni<0,08; As<0,0005-0,0011; Li, Cu, Co <0,04; Rb, Cd, Cr <0,03; Pb<0,01; Al<0,1-0,21; Zn, Cs <0,05; B=0,36-0,71 Ba<0,05-0,08; Sr=0,25-0,88

Радиоактивност ових подземних вода је ниска и креће се за радон $R_n=1,02-2,17$ Bq/l и за радијум $R_a <0,05$ Bq/l.

Од свих осматраних бунара, најхладнију воду и најстабилнији температурни режим подземних вода је констатован у Горњем Стрижевцу (10,1-12,1°C).

Посматрано са аспекта употребљивости воде за пиће, испитиване подземне воде у Горњем Стрижевцу имају стална прекорачења садржаја мангана $Mn=0,06-0,23$ mg/l ($MДК=0,05$ mg/l), амонијум јона $NH_4=0,85-1,92$ mg/l ($MДК=0,1$ mg/l), нитрита $NO_2=0,19-0,286$ mg/l ($MДК=0,03$ mg/l), оксидабилност $KMnO_4=19,8-31,6$ mg/l ($MДК=8$ mg/l). Повремено се јавља и прекорачење садржаја гвожђа у води $Fe=0,29 \rightarrow 0,99$ mg/l ($MДК=0,3$ mg/l).

Добар квалитет подземних вода за пиће у Александровцу се не одржава током целе године. У хипсометријски вишем делу села, повремено долази до погоршања квалитета и то је утврђено током пролећних месеци 2016. године у копаном бунару Слободана Младеновића. Повишени садржај у односу на МДК воде за пиће, констатован је за: гвожђе $Fe=0,14 \rightarrow 0,8$ mg/l ($MДК=0,3$ mg/l) и оксидабилност $KMnO_4=<0,3 \rightarrow 17,5$ mg/l ($MДК=8$ mg/l).

У микрокомпонентном хемијском саставу, констатовано је прекорачење садржаја бора В ($MДК=0,3 \text{ mg/l}$) и то у свим испитиваним подземним водама бабушничке котлине (табела 3). Вишекратни унос у организам мањих количина бора, може довести до кумулативне токсичности. Симптоми токсичног ефекта бора су: појава црвеног осипа, повраћање, дијареја, смањена циркулација крви, кома и др.

Хидрохемијска испитивања подземних вода из карстне издани непосредног обода бабушничке котлине, указују да се ради о јако квалитетним водама за пиће, мале минерализације, са доминантним садржајем калцијума (Са) у катјонском саставу и хидрокарбоната (HCO_3) у анјонском саставу. То су воде које су најзаступљеније у јавном водоснабдевању становништва у Србији.

ЗАКЉУЧАК

У досадашњем периоду, хидрогеолошка потенцијалност дубљих делова плиоценских седимената (Pl) који испуњавају бабушнички басену, није адекватно истражена.

У плићим деловима серије до дубине 20 m, констатоване су подземне воде „прве“ издани у прослојцима и сочивима ситнозрних пескова и шљункова. Услед заглињености међутим, ова средина има релативно слаба филтрациона својства ($k=6,5 \times 10^{-6} - 1,1 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$).

Водоносност алувијалних пескова и шљункова реке Лужнице (al) је нешто већа у односу на плиоценске седimente. Коефицијенти филтрације ове средине су у границама $k=1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$.

Оно што ипак даје заједничко обележје подземним водама у плиоценским и алувијалним седиментима бабушничке котлине је честа хемијска неисправност за потребе јавног водоснабдевања. У највећем броју случајева, њихова ограничена употреба је условљена прекорачењима МДК за садржаје: нитрита (NO_2), амонијум јона (NH_4), оксидабилности (KMnO_4), гвожђа (Fe), мангана (Mn). Поред тога, у свим испитиваним подземним водама из плиоценских седимената бабушничке котлине, констатовано је прекорачење садржаја бора (В).

ЛИТЕРАТУРА

- Анђелковић, Ј. (1970). Терцијарне рибе Србије. *Геолошки анали Балканског полуострва*, 35, 281-365.
- Чубриловић, П. (1969). *Извештај о инжењерскогеолошким одликама терена дуж трасе цевовода Љуберађа-Бела Паланка-Ниш (Брзи Брод)*, Београд, Фонд стручне документације Геолошког завода Србије.
- Чубриловић, П. (1980). *Хидрогеолошке одлике слива Јужне Мораве*, Београд, Фонд стручне документације Геолошког завода Србије.
- Ђокановић, С. (2017). *Основна инжењерскогеолошка карта и Тумач за лист Бела Паланка 1:100.000 (ауторски оригинал-нештампан)*, Београд, Фонд стручне документације Геолошког завода Србије.
- Лазић, М. (1990). *Инжењерскогеолошка истраживања терена за потребе израде подлоге за ДУП Бабушнице (центар града и зона Београдске улице)*, Београд, Фонд стручне документације Геолошког завода Србије.
- Миладиновић, Б. (2018). *Основна хидрогеолошка карта 1:100.000 и Тумач за лист Бела Паланка (ауторски оригинал-нештампан)*, Београд, Фонд стручне документације Геолошког завода Србије.
- Вујисић, Т. (ур.) (1971). *Основна геолошка карта СФРЈ и Тумач за лист Бела Паланка 1:100.000*, Београд, Савезни геолошки завод.
- Злоколица-Мандић, М. (2006). *Елаборат о резервама подземних вода на потезу Стол-Камбелевац код Бабушнице*, Београд, Фонд стручне документације Геолошког завода Србије.

Примљено/ Received on 04.09.2019.
Ревидирано/ Revised on 30.09.2019.
Прихваћено/ Accepted on 19.10.2019.