

## HIDROGEOLOŠKA KATEGORIZACIJA TERENA U SLIVU RIJEKE SANICE

**Emir Temimović**, Univerzitet u Sarajevu, Prirodno-matematički fakultet, Odsjek za geografiju, Zmaja od Bosne 33-35, Sarajevo, Bosna i Hercegovina  
emirtemimovic@yahoo.com

**Ahmed Džaferagić**, student Master studija, Univerzitet u Sarajevu, Prirodno-matematički fakultet, Odsjek za geografiju, Zmaja od Bosne 33-35, Sarajevo, Bosna i Hercegovina  
ahmed\_dz@windowsslive.com

*Uvažavajući materijalni sastav stijenskih masa, strukturu poroznosti, međusobni prostorni odnos geoloških jedinica i vodopropusnost stijena provedena je i predstavljena hidrogeološka kategorizacija terena i stijenskih masa u slivu rijeke Sanice. Izdvojene su tri osnovne hidrogeološke jedinice. Prvu jedinicu čine tereni s vodonosnicima krško-pukotinske poroznosti, drugu tereni s vodonosnicima intergranularne, intergranularne i/ili pukotinske i pukotinske poroznosti, a treću jedinicu čine tereni praktično bez vodonosnika.*

*Prostorno najveći dio sliva obuhvataju tereni s vodonosnicima krško-pukotinske poroznosti, a najveći dio istraživanog terena odlikuje krška hidrografija. Ukazano je na pojedine posebnosti koje iz toga proizlaze te posebno ugroženost podzemnih voda od onečišćenja i zagađenja. To, uz hidrogeološku kategorizaciju terena predstavlja važan dio rada istraživanja kojim se prvenstveno željelo donekle razjasniti prostornu i vremensku raspodjelu voda u slivu u ovisnosti od osnovnih prirodnih datosti. Istraživanje je zasnovano na rezultatima, autorima dostupnih, prethodno provedenih istraživanja što je uz rezultate izvornih istraživanja i primjenu brojnih, općih i posebnih, naučno-istraživačkih postupaka omogućilo izradu krupnorazmjerne kompilacijske hidrogeološke karte.*

**Ključne riječi:** *sliv Sanice, propusnost stijena, krš, vrela, hidromorfološka evolucija krša, hidrogeološka karta*

## HYDROGEOLOGICAL CATEGORISATION OF TERRAIN OF THE SANICA RIVER BASIN

**Emir Temimovic**, University of Sarajevo, Faculty of Science, Department of Geography, Zmaja od Bosne 33-35, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina  
emirtemimovic@yahoo.com

**Ahmed Dzaferagic**, student of Master studies, University of Sarajevo, Faculty of Science, Department of Geography, Zmaja od Bosne 33-35, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina  
ahmed\_dz@windowsslive.com

*Considering the material composition of rock masses, the structure of porosity, the mutual spatial relationship of geological units and the water permeability of rocks, the hydrogeological categorization of terrain and rock masses in the basin of Sanica was performed. Three basic hydrogeological units have been identified. The first unit consists of terrain with aquifers of karst porosity, the second unit consists of terrain with aquifers of*

*intergranular, intergranular and/or fracture and fracture porosity, and the third unit consists of terrain without aquifer.*

*Spatially, the largest part of the basin includes terrain with aquifers of karst and fracture porosity, and the largest part of the researched terrain is characterized by karst hydrography. Consequences of this have been pointed out and also the vulnerability of groundwater to pollution. This, along with the hydrogeological categorization of the terrain, represents an important part of the research, primarily aimed at clarifying the spatial and temporal distribution of waters in the basin, depending on the basic natural conditions. The research is based on the results of previously conducted researches which with the results of original researches and the application of numerous, general and special scientific research procedures, enabled the development of a large-scale hydrogeological map.*

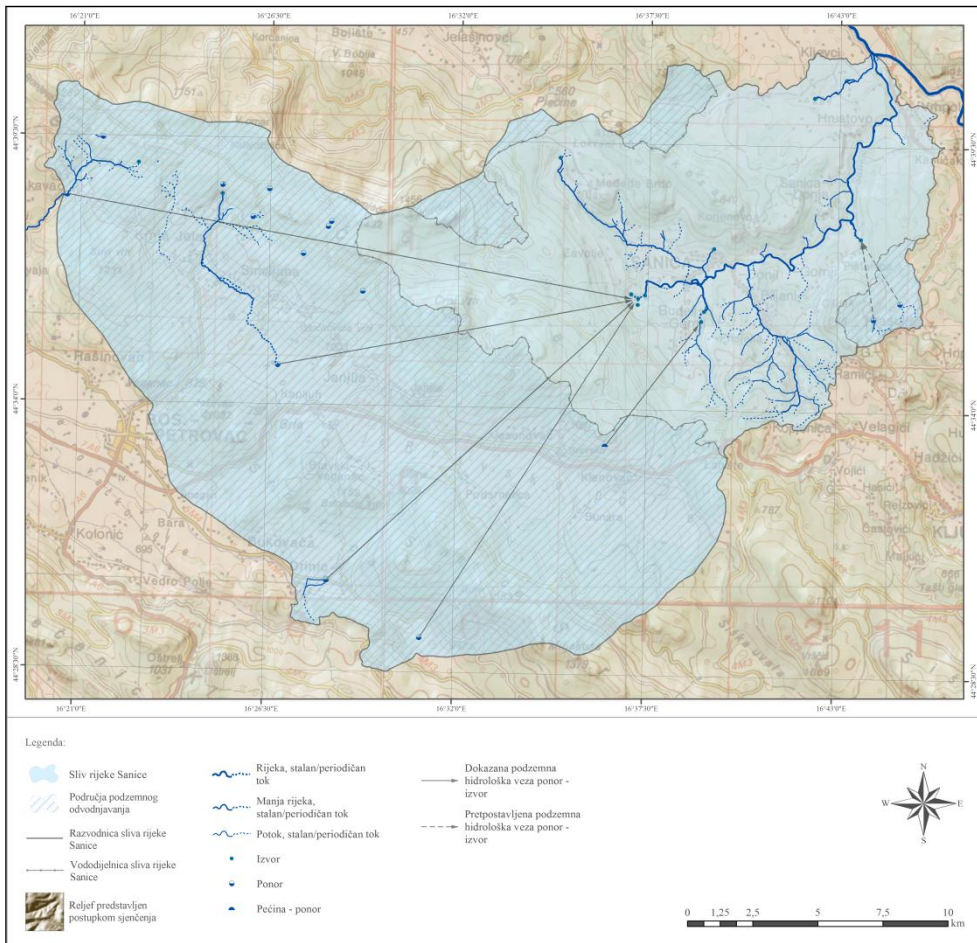
**Key words:** *the Sanica River basin, permeability of rocks, karst, springs, hydromorphological evolution of karst, hydrogeological map*

## UVOD

## INTRODUCTION

Sliv rijeke Sanice se nalazi u sjeverozapadnoj Bosni i Hercegovini na području općina Sanski Most, Ključ, Bosanski Petrovac i Petrovac. Ograničen vododijelnicom on obuhvata područje između Stražbenice (349 m n.v.), Golaje (501 m n.v.) i Ošljaka (666 m n.v.) na sjeveroistoku i istoku, zatim Markovog brda (411 m n.v.) i Cvijića glavice (432 m n.v.) te Laništa (717 m n.v.) na jugoistoku i jugu, masiva Grmeč sa nizom hrbata - Vrščić (1097 m n.v.), Kurešovac (1472 m n.v.), Crni vrh (1605 m n.v.), Mala Javornjača (1432 m n.v.), Velika Javornjača (1456 m n.v.) i Dujanovac (1130 m n.v.) na jugozapadu i zapadu, te Metle (743 m n.v.), hrbata Čelić kose i Mrežnice, Kamenite (441 m n.v.) i Begine glavice (281 m n.v.) na sjeverozapadu i sjeveru. Zbog jake karstifikovanosti terena postoje velika odstupanja između površinske i podzemne razvodnice. Iako položaj podzemne razvodnice nije u potpunosti određen, slivu Sanice pripadaju i Bravsko polje, jugoistočni dio Petrovačkog polja, sjeverozapadni dio planine Srnetice, istočni dio Majdanske uvale, te dijelovi Hrustovačke i Krasuljske površi koji se prema rijeci Sanici odvodnjavaju podzemno (sl.1.). Tereni sa podzemnim odvodnjavanjem obuhvataju oko 63% ukupne površine sliva što je oko 514 km<sup>2</sup> (Temimović i Džaferagić, 2016).

Voda je, s antopogeografskog gledišta, osnovni prirodni resurs istraživanog područja. Uprkos tome da su podzemne vode od životne važnosti za stanovništvo nastanjeno u slivu i širem području, zbog sve izraženije antropogenizacije i lošeg upravljanja prostorom, one postaju sve ugroženije od onečišćenja i zagađenja. Uzrok tome je i nedovoljno poznavanje načina njihovog postanka i faktora koji na to utječu. S ciljem razjašnjavanja prirodnih faktora koji utječu na raspodjelu podzemnih, ali i površinskih, voda provedena su složena istraživanja čiji rezultati mogu biti od koristi za očuvanje prirodniosti voda te bolje upravljanje cjelokupnim istraživanim prostorom.



Sl. 1. Sliv rijeke Sanice

Fig. 1. Sanica river drainage basin

Prilikom utvrđivanja međuodnosa i zakonomjernosti raspodjele podzemnih voda i ostalih osnovnih sastavnih dijelova prirodne sredine razjašnjena su i predstavljena i saznanja o općim geološkim, geomorfološkim i hidrometeorološkim prilikama u slivu, što predstavlja važan doprinos poznavanju općih geografskih obilježja sliva Sanice. Dobijeni rezultati, osim što doprinose poznavanju istraživanog i šireg područja, posebno su značajni zbog mogućnosti njihove praktične primjene.

## MATERIJAL I METODE MATERIAL AND METHODS

Istraživanje je zasnovano na rezultatima ranije provedenih istraživanja za različite potrebe i od strane različitih istraživača. Ranije provedena, iako nedovoljna, istraživanja omogućila su prilično dobro raspoznavanje hidrogeoloških obilježja u cjelokupnom slivu.

Prema autorima dostupnim saznanjima, prva hidrogeološka istraživanja u slivu Sanice vršena primjenom pouzdanih naučnih postupaka su izvršena pri regionalnim hidrogeološkim istraživanjima sliva rijeke Une. Najopsežnija istraživanja su provedena za potrebe izrade Osnovne geološke karte SFR Jugoslavije te potrebe izgradnje sistema za vodosnabdijevanje u općini Bosanski Petrovac. Prilikom istraživanja za potrebe utvrđivanja mogućnosti kaptiranja i izgradnje pomenutog vodovodnog sistema provedeni su, između ostalog, brojni eksperimenti bojenja ponora, bilansiranje izvorišta te provedene analize kvaliteta vode. Tokom proteklih nekoliko decenija provedena su i speleološka istraživanja pojedinih speleoloških objekata te speleoronilačka istraživanja sifona pojedinih vrela Sanice što je omogućilo mnogo bolje razumijevanje kretanja vode u podzemlju. Manja istraživanja su vršena i u području naselja Vrhpolje i Hrustovo s ciljem utvrđivanja pogodnosti terena za izgradnju hidroenergetskih objekata na rijekama Sani i Sanici. U novije vrijeme vršena su i istraživanja u području naselja Drinić s ciljem pronalaska i iskorištavanja podzemnih voda za vodosnabdijevanje.

Na osnovu tih istraživanja izrađeni su brojni projekti, studije i napisano nekoliko naučnih radova. Pored ostalih, značajni su projekti zaštite izvorišta Sanica i izvorišta Smoljana, te potamološka studija o rijeci Sani. Pojedini značajni podaci, sadržani u izvornoj dokumentaciji i pojedinim kartama, su autorima ostali nedostupni. Zastarjelost ranije prikupljenih podataka i nepostojanje stalnih opažanja količine i kvalitete podzemnih voda je onemogućilo i pravilnije sagledavanje sadašnjih hidrogeoloških prilika koje je potrebno poznavati radi pravilnijeg načina planiranja njihovog iskorištavanja.

Tokom istraživanja je korišteno više različitih naučno-istraživačkih postupaka, a samo je istraživanje provedeno kroz više faza. Istraživanje je otpočelo prikupljanjem dokumentacije nastale prilikom ranijih istraživanja. S prikupljanjem radnog materijala istovremeno se započelo i sa izdvajanjem korisnih informacija i podataka te pristupilo njihovom upoređivanju, provjeravanju i uopštavanju. Na osnovu prvih saznanja su određeni naučne pretpostavke, ciljevi i zadaci istraživanja te sadržaj rada. U daljim fazama istraživanja potvrđeno je da na raspodjelu voda utječe više faktora te je okvirno izvršeno razjašnjene hidrogeoloških prilika u istraživanom području.

Upotrebom posebnih naučnih postupaka – GIS i postupka kartiranja, prikupljeni podaci su predstavljeni na više tematskih karata na osnovu kojih je omogućeno pouzdano otkrivanje međusobnih veza i odnosa između osnovnih sastavnih dijelova geoprostora koji se odražavaju na hidrogeološke prilike. Istovremeno s kabinetskim započelo se i s terenskim istraživanjima radi spoznavanja sadašnjih hidrogeoloških prilika. Na taj način je omogućeno objektivnije tumačenje prikupljenih podataka te konačno utvrđivanje stepena utjecaja pojedinih sastavnih dijelova geografske sredine na raspodjelu voda.

## REZULTATI I RASPRAVA RESULTS AND DISCUSSION

Hidrogeološke prilike u slivu rijeke Sanice odraz su međudjelovanja niza faktora, a prvenstveno su uvjetovane litološkim sastavom i sadašnjim strukturnim sklopom terena te raspodjelom padavina. Stijene raznovrsne po sastavu, starosti i prostornom položaju su se odrazile na cjelokupan izgled terena te reljefne i time hidrometeorološke i hidrološke prilike koje se u pojedinim dijelovima sliva značajno razlikuju. Srednji i istočni dio sliva se odlikuje razvijenom i gustom hidrografskom mrežom površinskih vodotokova obrazovanim, uglavnom, na slabo vodopropusnim i vodonepropusnim permotrijaskim i trijaskim

klastitima, dolomitima, glinama, laporima i tufovima. U ostatku sliva preovladavaju jako karstifikovani i vodopropusni karbonati zbog kojih je razvijen duboki krš obilježen krškom hidrografijom. Dubokom kršu pripadaju i južni i zapadni dijelovi sliva u kojima je godišnja količina padavina mnogo veća (do oko 1400 mm) u odnosu na krajnje sjeverne i istočne dijelove sliva (gdje iznosi oko 1100 mm). To se posebno povoljno odražava na prihranjivanje vodom prostranih krških vodonosnika u tim područjima. Postojanje dužih sušnih perioda tokom godine se, zbog velike debljine krečnjaka i mogućnosti nakupljanja velike količine vode u podzemlju, ne odražava značajnije na prihranjivanje stalnih vrela. To je krajnje pojednostavljeno objašnjenje hidrogeoloških prilika koje su mnogo složenije, a detaljnije razjašnjene u nastavku.

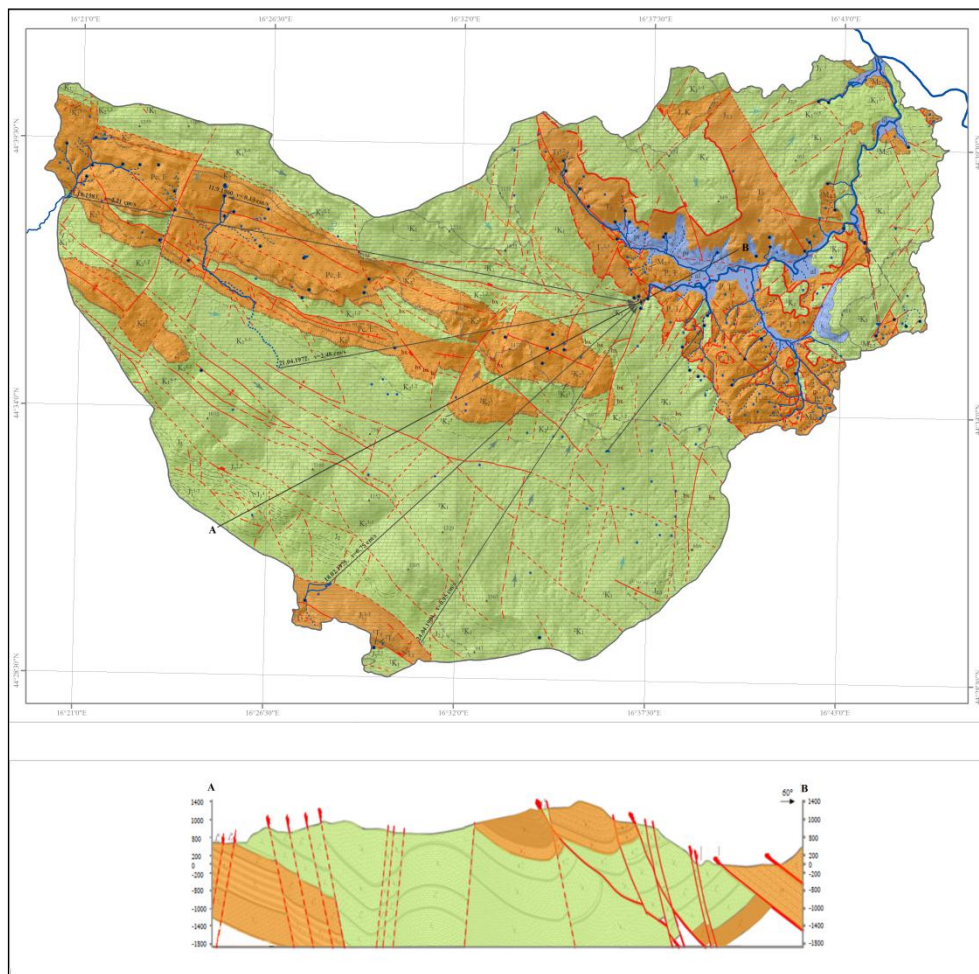
Prema provedenoj hidrogeološkoj kategorizaciji stijenskih masa, u istraživanom području izdvojene su tri osnove hidrogeološke jedinice (sl. 2.) Prva izdvojena jedinica, u kojoj su vodonosnici krško-pukotinske poroznosti, obuhvata najveći dio sliva. U toj jedinici se nalaze vrlo vodoobilne stijenske mase koje se prazne na više jakih krških vrela. Drugu izdvojenu jedinicu sačinjavaju stijene intergranularne, intergranularne i/ili pukotinske i pukotinske poroznosti obilježene dobrom vodopropusnošću i postojanjem manjih vodonosnika. Treću izdvojenu jedinicu čine slabo vodopropusne i praktično vodonepropusne stijene u kojima se nalaze prostorno vrlo mali i beznačajni vodonosnici. Oni se prazne na više izvora, male izdašnosti, od kojih nastaje mnogo manjih površinskih tokova koji se održavaju na vodonepropusnoj podlozi. U dubljim dijelovima hidrogeološke prilike su slabo razjašnjene. Ipak, međusobne prostorne odnose izdvojenih jedinica, odnosno stijenskih masa različitih prema vodopropusnosti, moguće je donekle pratiti na osnovu predočenog hidrogeološkog profila.

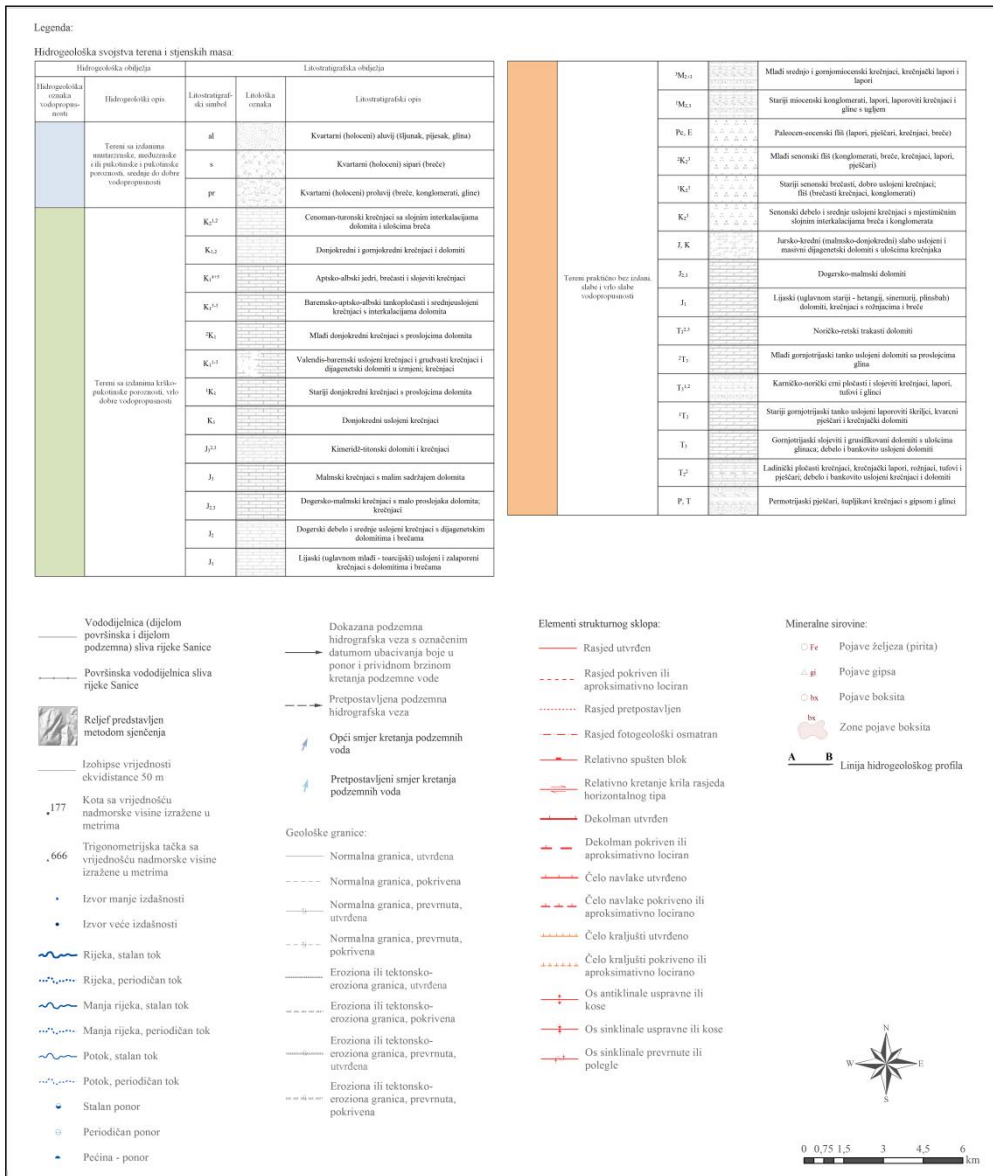
### **Tereni sa vodonosnicima krško-pukotinske poroznosti** **Terrains with aquifers karst-fracture porosity**

Tereni sa vodonosnicima krško-pukotinske poroznosti obuhvataju oko 2/3 sliva, a izgrađeni su od karstifikovanih karbonatnih (krečnjak, dolomit) i sulfatnih (gips, anhidrit) stijena, te nešto manje karstifikovanih krečnjaka, zatim ispucalih breča, laporaca i konglomerata, istaloženih uglavnom tokom jure i krede (Vrhovčić i Mojićević, 1983). Karstifikovani krečnjaci su velike debljine (ponegdje i preko 1000 m), vrlo ispucali (posebno u pripovršinskom dijelu terena) te vrlo vodopropusni i imaju ulogu sprovodnika i sabirnika podzemnih voda. Dolomiti imaju promjenjivu ulogu; uglavnom su grusirani (raspadnuti), imaju ulogu hidrogeoloških zapreka te tvore (podzemna) razvođa i općenito su nepovoljne sredine za nakupljanje i strujanje podzemnih voda. Tek mjestimično, zbog manje debljine i ispucalosti oni su propusni te predstavljaju prilično dobre provodnike podzemnih voda. Gips i anhidrit imaju podređeno učešće u permotrijaskim terenima koji su općenito predstavljeni klastitima i glinama zbog čega su i vodonepropusni. Permotrijaski klastiti ograničavaju krško-pukotinske vodonosnike te imaju veliki hidrogeološki značaj jer su i uvjetovali pojavu najizdašnijih vrela u slivu.

Prihranjivanje krško-pukotinskih vodonosnika se vrši sabrano i raspršeno, odnosno poniranjem površinskih i atmosferskih voda kroz ponore i uzduž proširenih pukotina. U južnom i zapadnom, te istočnom dijelu sliva Sanice postoje manji alogeni vodotokovi koji se obrazuju na slabo vodopropusnim stijenama (flišu, dolomitima i klastitima) i poniru na dodiru sa karstifikovanim karbonatima. Postupkom bojenja ponirućih voda je utvrđeno da se prema vrelima rijeke Sanice odvodnjavaju ponori Smoljana (Kapljuh), Marjanovića do,

Drinić i Kozilska slatina, a prema vrelima rijeke Korčanice ponor Racina pećina i još nekoliko ponora u jugoistočnom dijelu Bravskog polja (Projekat zaštite izvorišta vode za piće Sanica, općine Bosanski Petrovac i Ključ, 2005). Pretpostavlja se da se prema Šikmanskom vrelu podzemno odvodnjavaju potoci Hlađevac i Bajramovac kod naselja Krasulje. Prema tome, podzemne vode centripetalno prateći pružanje rasjeda, iz krškog zaleđa, otječu prema vrelima na kojima istječu. Podaci dobijeni bojenjem ponora ukazuju na obilježja rasutog tečenja, posebno po pravcima poprečnim na privilegovane (uz rasjede dinaridskog usmjerenja). Vrijednosti brzine tečenja podzemnih voda su različite po različitim pravcima, ali općenito u svim pravcima su visoke. One, kao i vrijednosti koeficijenta filtracije ukazuju na mogućnost postojanja gotovo homogenih anizotropnih vodonosnika u području Grmeča i Bravskog polja. Gotovo svi vodonosnici su sa slobodnim nivoom (fliš Grmeča ima ulogu viseće hidrogeološke zapreke i ne utiče značajnije na ulogu vodonosnika u južnom i zapadnom dijelu sliva Sanice) pa je prihranjivanje krških vodonosnika prilično jednostavno.





**Sl. 2. Hidrogeološka karta sliva rijeke Sanice sa hidrogeološkim profilom Petrovačko polje – Gornjosanička kotlina**  
**Fig. 2. Hydrogeological map of the Sanica river drainage basin basin with a hydrogeological profile Petrovačko polje - Gornjosanicka valley**

Pražnjenje krško-pukotinskih vodonosnika se odvija uglavnom sabrano na snažnim krškim vrelima smještenim po rubu masiva i hrbata (Projekat zaštite izvorišta vode za piće Sanica, općine Bosanski Petrovac i Ključ, 2005). Zbog slabih mogućnosti zadržavanja vode

u podzemlju ono je brzo, a kolebanja nivoa podzemnih voda izražena. To se odražava na prilično velika kolebanja istjecanja vode na vrelima i postojanje periodičnih vrela, ali i slabe mogućnosti samoprečišćavanja onečišćenih voda.

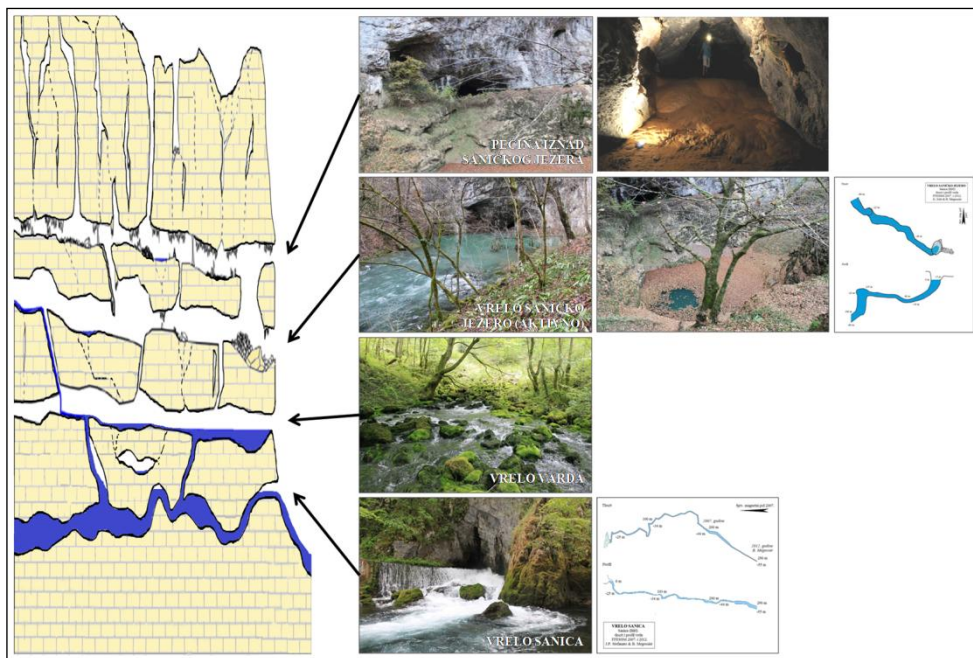
U graničnom području masiva Grmeč i Gornjosaničke kotline se nalaze četiri vrela rijeke Sanice: pećinsko vrelo, Varda, Saničko jezero (Jezero, Jasen) i Jasenak, a vrela čine vrelsku zonu i od kojih nastaje rijeka Sanica. Glavno (pećinsko) vrelo Sanice je smješteno na 221 m n.v., a ostala uzvodno na nešto višoj visini. Manje vrelo Jasenak je smješteno na oko 225 m n.v. i to na mjestu gdje se spajaju korita usmjerena od vrela Varda, smještenog na oko 235 m n.v. i vrela Saničko jezero, smještenog na oko 240 m n.v.. Za razliku od vrela Sanica koje je stalno aktivno vrelo, vrelo Saničkog jezera je periodično i sa ujezerenjem vode u sifonskom kanalu. Izgleda je bunaraste vrtače promjera oko 30 m kao i vrelo Varda koje je postojanije i u čije pukotine i kanale je odložen obronačni materijal sa padina vrelske zone. Speleoronilačkim istraživanjima je utvrđeno da su sifoni vrela Sanica i Saničko jezero jednostavni i inversni. Vrela se vodom prihranjuju iz područja Grmeča, Srnetice, Bravskog i Petrovačkog polja te uvale Kozila. Njihov nastanak je uvjetovan dubokim denudacijsko-erozijskim zasjekom u krečnjacima koji je dosegao do svoje vodonepropusne podine tako da permotrijaski sedimenti čine podinsku i bočnu zapreku te uvjetuju pražnjenje podzemnih voda (Temimović, 2009). Vrela su uzlaznog mehanizma istjecanja, kako je i navedeno raspoređena u nekoliko visinskih zona te vjerovatno međusobno povezana na što upućuju hidraulički odnosi vrela i rezultati provedenih speleoronilačkih istraživanja sifona vrela Sanica i vrela Saničko jezero.

Položaj, izgled i hidrološka aktivnost ukazuju da su vrela nastala usljed spuštanja nivoa podzemne vode u neotektonskom periodu kojeg je općenito obilježilo značajno izdizanje terena. U tom prilično dugom vremenskom periodu vjerovatno je u pojedinim kraćim razdobljima bilo jačeg izdizanja, a u drugim razdobljima slabije izdizanje ili se teren nije niti izdizao. To se odrazilo ne samo na nastanak novih pećina – vrela nego i nastanak predgorskih stepenica koje se zapažaju na padinama Grmeča u neposrednoj blizini vrelske zone. Tokom hidromorfološkog razvoja krša, u istraživanom području su se hidrografske zone preobražavale iz stalno vlažnih preko periodično vlažnih i periodično suhih do stalno suhih. Sadašnje glavno vrelo – pećinsko vrelo Sanica označava stalno vlažnu ili zasićenu zonu. Zbog toga je to vrelo prema vremenu istjecanja stalno, a vrela Saničko jezero, Varda i vrelo Jasenak periodična, te sa vrlo izraženim amplitudama kolebanja izdašnosti.

Glavno vrelo Sanice je 1985. godine kaptirano i koristi se za vodosnabdijevanje grada i općine Bosanski Petrovac i dijelu naselja Sanica. Za potrebe vodosnabdijevanja pojedinih naselja općine Ključ, tokom sušnih perioda, nedavno je donesena odluka o izgradnji vodovodnog sistema koji uključuje i kaptiranje vrela Varda. Takva odluka, zbog hidrogeoloških odnosa vrela Sanice se čini nerazumnom. Naime, tokom dužih sušnih perioda u zaleđu vrela Varda voda se skoro u potpunosti usmjerava ka glavnom vrelu koje je na nižoj visini te je protjecaj na vrelu Varda vrlo nizak. Zbog toga, osim što se njegovim kaptiranjem neće zadovoljiti potrebe vodosnabdijevanja, mogući su i vjerovatni nepovoljni utjecaji u vrelskoj zoni koju odlikuje prilično visok stepen georaznovrsnosti.

Na osnovu podataka dobijenih osmatranjem u trogodišnjem periodu (1978.-1981.) utvrđene su posebne vrijednosti izdašnosti skupno za sva vrela rijeke Sanice. Najmanja ( $Q_{\min} = 0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ ) i najveća ( $Q_{\max} = 40 \text{ m}^3/\text{s}$ ) utvrđena vrijednost izdašnosti ukazuju na značajne amplitude kolebanja (visok koeficijent neravnornosti) izdašnosti ili istjecanja (1:50), dok vrijednost prosječne izdašnosti ( $Q_{\text{sr}} = 8,9 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ukazuje na veliko bogatstvo vode (Projekat zaštite izvorišta vode za piće Sanica, općine Bosanski Petrovac i Ključ, 2005).





Sl. 3. Pojednostavljeni prikaz vjerovatnog međusobnog odnosa vrela rijeke Sanice koji proizlazi iz položaja, izgleda i hidroloških obilježja istraživanih vrela

Fig. 3. Simplified presentation of the probable mutual relationship between the spring of the river Sanica deriving from the position and appearance of the hydrological characteristics of the investigated springs

Vrela rijeke Korčanice (vrelo Korčanica i vrelo Korčaničko jezero) se nalaze na udaljenosti od oko 2,5 km u odnosu na vrelsku zonu Sanice, kod naselja Budelj Donji. Vrelo Korčanica je stalno hidrološki aktivno vrelo, smješteno na oko 210 m n.v., te razbijenog tipa budući da voda istječe kroz mnoštvo pukotina i kanala. Korčaničko jezero je periodično aktivno voklijsko vrelo, smješteno u odnosu na glavno vrelo oko 450 m uzvodno i to na oko 215 m n.v. ispod krečnjačkog odsjeka visine oko 60 m. Zbog sličnog postanka, izgleda i izdašnosti, ta i vrela rijeke Sanice smatraju se i jednim širim, razbijenim, izvorištem. Ona se vodom prihranjuju podzemnim dotjecanjem iz područja istočnog dijela masiva Grmeč, jugoistočnog dijela Bravskog polja i dijelom iz planine Srnetice, te površinskim dotjecanjem voda iz podgorja Grmeča. Podaci dobijeni praćenjem načina pražnjenja podzemnih voda na vrelima Sanice i vrelima Korčanice ukazuju da postoje zasebni vodonosnici. Kao i kod vrela Sanice, vrela Korčanice su nastala na dodiru krednih krečnjaka i permotrijaskih klastita. Vrela su nastala unutar tektonskog prozora u permotrijaskim tvorevinama koje su postepeno erodirane, a vrelska zona produbljivana tako da je ona značajne dubine. Osmatranjima u trogodišnjem periodu (1978.-1981.) utvrđeno je da izdašnost vrela varira i iznosi od  $Q_{\min} = 0,3 \text{ m}^3/\text{s}$  do  $Q_{\max} > 20 \text{ m}^3/\text{s}$ , što ukazuje na velike amplitude kolebanja izdašnosti (oko 1:66 i više) (Karakterizacija podzemnih voda sliva rijeke Save na teritoriji Federacije BiH: knjiga I - Tijela podzemnih voda podsliva rijeke Une na teritoriji Federacije Bosne i Hercegovine, 2009).

Na vrelu Trebunj (u blizini naselja Sanica) smještenom na oko 225 m n.v. se prazne podzemne vode iz krškog podzemlja Čelić kose i dijela Hrustovačke zaravni. Vrelo je

pećinsko i uzlaznog mehanizma istjecanja budući da je i ono, kao i vrela Sanice i Korčanice, nastalo na dodiru permotrijaskih vodonepropusnih tvorevina i trijaskih i krednih karbonata. Podaci o izdašnosti su nepoznati, ali prema procjeni ono se može uvrstiti u srednje izdašna vrela. Ono je kaptirano i koristi se za vodosnabdijevanje u jednom dijelu naselja Sanica.

Područje Hrustovačke krške zaravni se, osim prema vrelu Trebunj, odvodnjava i prema vrelima Glibaje. Glavno vrelo Glibaje je Kljevačko vrelo smješteno na oko 210 m n.v. i oko 300 m sjeverno od pećine Hrustovače. Dolina Glibaje je preduvjetovana rasjedom koji odjeljuje jurske od krednih krečnjaka u tom prostoru. Isti rasjed preduvjetovao je i postanak Hrustovačke pećine. Između vrela i pećine uočavaju se oblici dolinskog reljefa oblikovani djelovanjem nekadašnjeg vodotoka koji je vjerovatno tekao iz pećine (Temimović, 2009). Ti fosilni fluvijalni reljefni oblici, te sadašnji prostorni odnosi vrela i pećine ukazuju na mogućnost da je vrelo nastalo nakon što je pećina izgubila stalnu hidrografsku ulogu. Kljevačko vrelo spada u izvorišta male izdašnosti.

Na Šikmanskom vrelu kod danas napuštenog naselja Šikmani prazne se podzemne vode vodonosnika smještenih u područja hrbata Ošljaka i zapadnog dijela Krasuljske krške zaravni. Kao i prethodno pomenuta veća vrela u Gornjosaničkoj kotlini i ono je oblikovano na dodiru krovinskih jako karstifikovanih krednih krečnjaka i podinskih permotrijaskih klastita te je prema mehanizmu istjecanja slično vrelu Trebunj. Kolebanja protjecaja su vrlo izražena, a tokom dugotrajnih sušnih perioda vrelo gotovo presuši. Podaci o izdašnosti su nepoznati, ali prema procjeni to vrelo spada u izvorišta srednje izdašnosti.

Od vrela Smoljana i još nekoliko manjih vrela nastaje Smoljanska rijeka koja predstavlja najznačajniji vodotok u širem području Bosanskog Petrovca. Vrelo se vodom prihranjuje podzemnim dotjecanjem iz srednjeg dijela masiva Grmeč. Vrelo Smoljana se nalazi kod naselja Krnja Jela, na oko 930 m n.v., na dnu polukružnog denudacijsko-erozijskog udubljenja koje je prekriveno debelim naslagama regolita. Ono je nastalo u sinklinali polegale bore litološki sačinjenoj od flišnih tvorevina. Na obrazovanje vrela prvenstveno su utjecali proslojci laporaca unutar krečnjaka, koji su manje vodopropusni te uvjetuju istjecanje podzemnih voda. Vrelo prema mehanizmu istjecanja pripada tipu prelivnih izvorišta, a kako je vjerovatno hidrološki povezano sa ostalim vrelima i ono je razbijenog tipa. Pošto je ono najizdašnije, pretpostavlja se da se nalazi u najprovodnijoj zoni, odnosno da je vodopropusnost pukotina i kanala vrela Smoljana veća. U odnosu na ostala vrela koja se nalaze u vrelskoj zoni kolebanja izdašnosti su mnogo veća. Ona su smještena na nižoj visini i imaju manju izdašnost, ali su kolebanja izdašnosti mnogo manja. Ukupna izdašnost vrela Smoljanske rijeke (Smoljana – glavno vrelo, Sedra, Pećina I, Pećina II, Crno vrelo bez Lukinog vrela) iznosi oko  $Q_{\min} = 5$  l/s do  $Q_{\max} > 100$  l/s. Prema podacima periodičnih osmatranja izdašnosti uočava se da protjecaj vode na glavnom vrelu, u periodima manjih protjecaja, odgovara približno vrijednosti od 50% proticaja svih vrela (Projekat zaštite izvorišta vode za piće Smoljana, općine Bosanski Petrovac, 2004).

### **Tereni sa vodonosnicima intergranularne, intergranularne i/ili pukotinske i pukotinske poroznosti**

### **Terrains with aquifers of intragranular, intergranular and/or fracture and fracture porosities**

Oni obuhvataju uglavnom vodonosnike u aluvijalnim naslagama položenijih dijelova riječnih i potočnih dolina Sanice i njenih pritoka te moćnijim proluvijalnim i eluvijalnim (siparišnim) naslagama u podnožju strmih padina Čelić kose i Ošljaka. Aluvijalni,

proluvijalni i siparišni sedimenti su stijene kvartarne, pretežno holocenske, starosti litološki predstavljene šljuncima, pjescima, brečama, konglomeratima, drobinom i glinom (Vrhovčić i Mojićević, 1983). Udio pojedinih stijena u građi vodonosnika vrlo je promjenjiv, a to se neposredno odražava na njihovu vodopropusnost i vodonosnost.

Vodonosnici u aluvijalnim naslagama se prihranjuju infiltracijom atmosferskih voda, voda iz drugih vodonosnika (krško-pukotinskih, proluvijalnih i eluvijalnih) te vodama površinskih vodotokova prilikom njihovog izlivanja po prikoritskom aluviju. Vodonosnici u proluvijalnim i eluvijalnim naslagama se prihranjuju također infiltracijom atmosferskih voda, te izlivanjem vode iz korita, uglavnom, periodičnih potoka. Osim toga one se još prihranjuju i vodama krško-pukotinskih vodonosnika, a siparski konusi i plazevi često prekrivaju i zaklanjaju izvore koji odvodnjavaju pomenute vodonosnike. Prema navedenom, svi vodonosnici su uglavnom povezani sa atmosferom preko prozračne ili zone aeracije, te su prema tome oni sa slobodnim nivoom. Zbog značajne debljine aluvijalnih naslaga (mjestimično preko 5 m) te filtracijskih mogućnosti, u njima se nalaze značajne, ali ne i pouzdano određene količine podzemnih voda. Aluvijalni vodonosnici prostorno su ograničeni i uglavnom smješteni u većim aluvijalnim (naplavnim) ravninama te predstavljaju vodonosnike zbijenog tipa. Aluvijalne vodonosnike odlikuje dobra hidraulička povezanost s površinskim vodotokovima. Osim što se prihranjuju vodama površinskih vodotokova, one se uglavnom, raspršenim otjecanjem kroz poroznu sredinu, i odvodnjavaju prema koritima površinskih vodotokova u vrijeme kada je nivo vode u koritima smanjen. Na taj način one u manjoj mjeri ujednačavaju režim površinskih vodotokova te doprinose njegovoj postojanosti (Spahić, 2013).

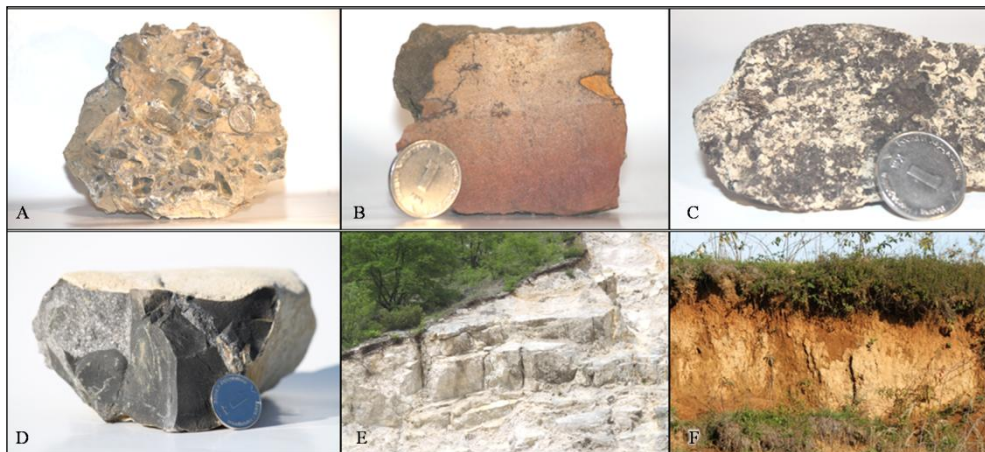
### **Tereni bez vodonosnika**

#### **Terrains without aquifers**

Tereni praktično bez vodonosnika obuhvataju skoro jednu trećinu (oko 28 %) sliva i isto toliko kategoriziranu hidrogeološku jedinicu u slivu rijeke Sanice. Oni su predstavljeni uglavnom vodonepropusnim i pretežno vodonepropusnim hidrogeološkim kompleksima tzv. „ključkog paleozoika“ i „fliša Grmeča“ u kojima je veće učešće vodonepropusnih stijena. Preciznije, tereni bez vodonosnika su predstavljeni permotrijaskim pješčarima, laporcima i laporovitim krečnjacima, brečama, konglomeratima i glinama, zatim trijaskim tufovima, pješčarima, rožnjacima, škriljcima, glincima i grusiranim dolomitima, jurskim dolomitima i brečama, gornjokrednim i paleocen-eocenskim flišolikim i flišnim sedimentima (laporcima, pješčarima, brečama, konglomeratima i krečnjacima) te miocenskim laporima, laporovitim krečnjacima, krečnjacima, pješčarima, konglomeratima, brečama i glinama (Vrhovčić i Mojićević, 1983; Šušnjar i Bukovac, 1979; Jurić, 1977).

Pretežno vodonepropusni hidrogeološki kompleks permotrijaskih sedimenata je omogućio obrazovanje guste mreže površinskih potočnih vodotokova u slivovima Biljanske rijeke i Saničke rijeke, a svojom ulogom podinske i bočne hidrogeološke zapreke uvjetovao istjecanje voda iz krško-pukotinskih vodonosnika. Trijaska naslage u slivu Biljanske rijeke također, imaju značajnu ulogu za održavanje površinskih vodotokova, a u području Bosanskog Petrovca imaju ulogu hidrogeološke zapreke i grade razvodnicu sliva rijeke Sanice. Dolomiti, koji su najzastupljeniji litološki član trijaskih naslaga u istraživanom području, imaju dvostruku, ali pretežno ulogu vodonepropusnih stijena. Oni su naime, uglavnom grusirani, mjestimično zalaporeni i zaglinjeni, te vrlo slabo karstifikovani i prema tome slabo ili nikako vodopropusni. Nešto više su raspucali i karstifikovani u

pri površinskim dijelovima terena što omogućava procjeđivanje – tečenje voda kroz veće pukotine i kanale do izvorišta. Pored pomenutih gornjotrijaskih dolomita te pješčara vodonepropusnosti antiklinale kod Bosanskog Petrovca značajno doprinose i donjoturki dolomiti.



Sl. 4. Permotrijaska konglobreča (Budelj Donji) – A, pješčar (Biljani Gornji) – B, karničko-norički tuf - C, laporac (Prisjeka Gornja) - D, gornjotrijaski dolomiti (Kordići) – E i miocenske gline (Jezerci) - F u istraživanom području

Fig. 4. Permotrias conglobreccia (Budelj Donji) – A, Sandstone (Biljani Gornji) – B, Karnik-norik tuff - C, Marl (Prisjeka Gornja) - D, Upper triassic dolomite (Kordići) – E and Miocene clay (Jezerci) - F in the study area

U masivu Grmeča se nalazi prostorno veliki i pretežno vodonepropusni flišni hidrogeološki kompleks. Fliš je karbonatnog sastava i odlikuje ga zapravo mješoviti tip poroznosti. Pješčari, krečnjaci, breče i konglomerati u tom kompleksu su omogućili obrazovanje prostorno manjih vodonosnika koji se prazne na izvorima male do srednje izdašnosti. U dijelovima terena gdje preovladavaju laporci, glinci (tj. glinovita komponenta) i nekarstifikovani krečnjaci su obrazovani kratki, periodično hidrološki aktivni, ponornički vodotokovi koji poniru na dodiru sa karstifikovanim krečnjacima. Budući da se flišni kompleks nalazi u krovini vodopropusnih karbonata, on ima ulogu višeće hidrogeološke zapreke. Sličnu ulogu imaju i miocenski sedimenti određeni u nekoliko izdvojenih i prostorno vrlo malenih područja. I njih obilježavaju mješoviti – intergranularni i pukotinski tip poroznosti, te prostorno maleni i isprekidani vodonosnici niskog koeficijenta transmisibiliteta (propusnosti) i niske vodoobilnosti.

Općenito, u opisanim terenima se nalaze, dakle, prostorno vrlo mali i sa gledišta vodoobilnosti i vodonosnosti beznačajni vodonosnici koji se prazne na izvorima vrlo male izdašnosti (uglavnom od 0,5 l/s do 3 l/s) od kojih se nekoliko koristi za vodosnabdijevanje manjih naselja. Iako su vrela Smoljanske rijeke nešto izdašnija, vodonosnik iz koje se prihranjuje je prostorno malen i nema mogućnost pohranjivanja veće količine vode. To se odražava na veliko smanjenje izdašnosti izvorišta za vrijeme dužih sušnih perioda. Njihova izdašnost u osnovi zavisi od meteoroloških uvjeta (količine padavina i brzine njihove filtracije, evapotranspiracije, dužine sušnih perioda i sl.) budući da se prihranjuju uglavnom procjeđivanjem atmosferskih voda. Prema navedenom, osnovna hidrogeološka uloga

stijenskih masa u opisanim terenima je prostorno ograničenje krško-pukotinskih vodonosnika i usmjeravanje otjecanja podzemnih voda prema bazama pražnjenja.

## ZAKLJUČAK CONCLUSION

Istraživanje je provedeno s ciljem razjašnjavanja osnovnih hidrogeoloških obilježja sliva rijeke Sanice, odnosno razumijevanja prostorne i vremenske raspodjele voda u tom slivu u ovisnosti od najznačajnijih prirodnih faktora. Utvrđeno je da je raspodjela voda u podzemlju te na površini terena prvenstveno uvjetovana njegovim litološkim sastavom i tektonskim odnosima, te raspodjelom padavina. U slivu su najzastupljeniji krečnjaci koji su jako karstifikovani i debeli te čine holokrš. U području holokrša se nalaze najveće količine podzemne vode koja istječe na više jakih krških vrela čija je pojava uvjetovana u najvećem broju slučajeva položajem vodonepropusnih permotrijaskih klastita prema karbonatima. Vodonepropusni klastiti, grusirani dolomiti, lapori i gline, taloženi u različitim vremenskim periodima, osim što prostorno ograničavaju krško-pukotinske vodonosnike onemogućavaju i obrazovanje većih vodonosnika te uvjetuju površinsko otjecanje voda u područjima njihovog rasprostranjenja. Kako se takve stijene često smjenjuju s vodopropusnim one grade hidrogeološke komplekse, ali se općenito tereni koje izgrađuju mogu smatrati vodonepropusnim. Manji dio terena se odnosi i na aluvijalne, proluvijalne i eluvijalne vodonosnike koji sačinjavaju posebnu treću kategoriziranu hidrogeološku jedinicu u istraživanom području.

Raspodjela podzemnih voda u odnosu na navedeno je mnogo složenija. Provedena hidrogeološka kategorizacija terena i stijenskih masa, pri kojoj su izdvojene tri osnovne hidrogeološke cjeline, omogućava prilično dobro razumijevanje osnovnih zakonomjernosti raspodjele podzemnih voda. Međutim, radi preciznijeg razjašnjavanja hidrogeoloških prilika u budućnosti je potrebno provesti obimnija istraživanja. Ovaj rad, nastao sažimanjem mnoštva podataka prikupljenih tokom ranijih istraživanja, a posebno namjenski izrađena hidrogeološka karta i predstavljeni hidrogeološki profil, u nedostatku preciznijih podataka, mogu biti temeljna osnova za pravilnije upravljanje vodama i općenito cijelim prostorom u slivu rijeke Sanice. Predstavljena hidrogeološka karta, iako sadrži samo osnovne podatke, posebno može biti korisna za izradu preciznih karata na kojima će se prikazati područja najveće opasnosti od zagađenja voda te prema njima djelovati sa ciljem očuvanja prirodnosti podzemnih i površinskih voda. Očuvanje prirodnosti podzemnih voda, odnosno pravovremeno spriječavanje njihovog onečišćenja, zahtijeva i stalno opažanje, na više vrela i opažackih bušotina, osnovnih fizičko-hemijskih i bioloških pokazatelja kvaliteta voda pa je i tome neophodno posvetiti veću pažnju. Zbog njihovog regionalnog značaja posebnu pažnju je potrebno posvetiti proučavanju te zaštititi i održivom korištenju voda vrela Sanice.

## Literatura i izvori Literature and sources

- Anon., Istraživanje jame Jojkinovac i objekata na vrelu Sanice, <http://ponir.org/istrazivanje-jame-jojkinovac-i-objekata-na-vrelu-sanice/> (26.11.2017.)
- Dragišić, V., 1997: Opšta hidrogeologija, Institut za hidrogeologiju, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd
- Expedition Bosnie FFESSM, Plongee Souterraine, Marseille, 2012.

- Jurić, M., 1977: Osnovna geološka karta 1:100.000, Tumač za list Prijedor, Savezni geološki zavod, Beograd
- Karakterizacija podzemnih voda sliva rijeke Save na teritoriji Federacije BiH: knjiga I - Tijela podzemnih voda podsliva rijeke Une na teritoriji Federacije Bosne i Hercegovine, Zavod za vodoprivredu, Sarajevo, 2009.
- Karanović, M., 1930: Sanička župa u Bosanskoj Krajini, Naselja i poreklo stanovništva, knj. 26., Srpska kraljevska akademija, Beograd
- Mégessier, B., 2008: Expedition CNPS Bosnie Nord, Le Fil 19, 35.- 38.
- Mégessier, B., 2017: Expedition Bosnie 2016, Le Fil 28, 31-36.
- Mojićević, M., Pamić, J., Maksimčev, S., Papeš, J., 1979: Osnovna geološka karta 1:100.000, Tumač za list Bosanska Krupa, Savezni geološki zavod, Beograd
- Osnovna geološka karta 1:100.000, listovi: Ključ, Drvar, Prijedor i Bosanska Krupa, Savezni geološki zavod, Beograd, 1975. -1982.
- Projekat zaštite izvorišta vode za piće Sanica, općine Bosanski Petrovac i Ključ, Rudarski institut, Tuzla, 2005.
- Projekat zaštite izvorišta vode za piće Smoljana, općine Bosanski Petrovac, Institut za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Sarajevu, Sarajevo, 2004.
- Projekat zaštite izvorišta vode za piće Zdena, općine Sanski Most, Institut za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Sarajevu, Sarajevo, 2004.
- Spahić, M., 2013: Hidrologija kopna, Sarajevo Publishing, Sarajevo
- Spahić, M., Temimović, E, Jahić, H., 2014: Hidrogeološka kategorizacija terena u porječju Sane, Acta Geographica Croatica 39 (1), 65-75.
- Studija činjeničnog i indikativnog stanja vodosnabdijevanja u općini Ključ, Una Consulting, Bihać, 2016.
- Šušnjar, M., Bukovac, J., 1979: Osnovna geološka karta 1:100.000, Tumač za list Drvar, Savezni geološki zavod, Beograd
- Temimović, E., 2009: Rijeka Sana - potamološka studija, Goldprint, Ključ
- Temimović, E., Džaferagić, A., 2016: Reljefna obilježja sliva rijeke Sanice, Acta geographica Bosniae et Herzegovinae 3 (6), 47-59.
- Topografske karte 1:200.000, listovi Banja Luka, Bihać, Jajce i Split, Vojno-geografski institut, Beograd, 1979.-1984.
- Topografske karte 1:25.000, listovi: Bosanski Petrovac – zapad, Bosanski Petrovac- istok, Bravsko, Donja Kozica, Jelašinovci, Kljevci, Ključ, Lušci Palanka, Oštrej, Sanica, Srnetica, Uvala i Vodenica, Vojno-geografski institut, Beograd, 1974.-1976.
- Vrhovčić, J., Mojićević, M., 1983: Osnovna geološka karta 1:100.000, Tumač za list Ključ, Savezni geološki zavod, Beograd

## SUMMARY:

## HYDROGEOLOGICAL CATEGORISATION OF TERRAIN OF THE SANICA RIVER BASIN

**Emir Temimovic**, University of Sarajevo, Faculty of Science, Department of Geography, Zmaja od Bosne 33-35, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina  
emirtemimovic@yahoo.com

**Ahmed Dzaferagic**, student of Master studies, University of Sarajevo, Faculty of Science, Department of Geography, Zmaja od Bosne 33-35, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina  
ahmed\_dz@windowslive.com

The Sanica River basin is located in the northwestern Bosnia and Herzegovina in the municipalities of Sanski Most, Ključ, Bosanski Petrovac and Petrovac. Bordered by the waterworks, it includes the area between Strazbenica and Osljak in the east, Grmec Massif in the south and southwest, and Celic Kosa and Mreznica in the west and northwest. Due to the strong karstification of the terrain, there is a mismatch between the surface and the underground watershed. Due to the abovementioned basin, the Bravsko polje, the southeastern part of the Petrovacko polje, the northwestern part of the Kozila uvala, the northwestern part of the Srnetica Mountain, the eastern part of the Majdanska uvala, and the parts of the Krasulje and Hrustovo karst plateaus that are submerged by the river Sanica, all belong to it. Areas with underground drainage comprise about 63% of the total area of the basin whose size is about 514 km<sup>2</sup>.

Due to the presence of lithologically diverse rocks, complex tectonic structures and strong carbonification of carbonate rocks, the hydrogeological conditions in the investigated area are very complex. In addition to the aforementioned, groundwater is influenced by many factors, including anthropogenic, due to their adverse effects in the area, which usually degrade the quality of surface, and especially underground waters.

In order to get to know and explain the basic laws of the distribution of underground and surface waters in the Sanica River basin, a complex research was conducted based on data obtained during previous research carried out for different needs and by various researchers. Based on these and original data obtained by long-term research of hydrogeological conditions in the investigated area, using modern scientific and research procedures, hydrogeological categorization of the terrain in the basin was carried out, and for the purpose of easier and more correct understanding of the spatial relationships of watertight and watertight rocks, a hydrogeological map was prepared and a hydrogeological profile of the terrain was presented.

In the hydrogeological categorization of rock masses in the investigated area, three bases of hydrogeological unit were isolated. The first unit consists of terrains in which the aquifers are of karst-fracture porosity. They include about 2/3 of the basin. Large surface representation, high degree of karstification and high limestone thickness enabled the formation of large aquifers. They emptied into several strong karst springs. The largest are the rivers Sanica and Korcanica. They were created at the touch of Perm-trias clastics, which are located along the sides and in the floor of the cracked limestones. The Sanica springs system consists of four springs, of which only one, the Sanica cave spring, is constantly hydrologically active. The mutual spatial relationships, appearance and

hydrological characteristics indicate that the springs are connected and that they were formed by the altitude shift of the hydrographic zones in karst. The determined and estimated values of the spring indicate that there is a fairly large quantity, according to physical and chemical indicators, water of high quality. Higher amounts of groundwater are found in the rocks of intergranular, intergranular and/or fracture and fracture porosity. These are gravel, sand and gravel of alluvial planes, talus and proluvial sediments. In terrains built of clastites, tufa, marl, dolomite and clay, which are replaced by karstic limestone, there are sparsely small and insignificant aquifers so they can generally be marked with terrain without aquifer. Non-aquifer lands are the third categorized unit. It mainly belongs to the marginal parts of the Gornjosanicka valley and the fisch of Grmec Mountain, as well as several isolated smaller areas in the valley of Sanica and ravines in the karst in the northern part of the Sanica basin. Although there are no significant quantities of underground water in these terrains, they have a great importance because their role of hydrogeological obstacles - lateral, bottom, and rooftop spatial restriction of karst-fractured aquifers, and thus affect the feeding and discharging of these aquifers.

### **Authors**

**Emir Temimovic**, doctor of geographical sciences, associate professor at the Faculty of Science, University of Sarajevo, Bosnia and Herzegovina. Editor of the scientific journal *Acta geographica Bosniae et Herzegovinae*; author of 25 scientific papers and three books from the scientific domain of physical geography.

**Ahmed Dzaferagic**, student of Master studies at the Department of Geography, Faculty of Science, University of Sarajevo, Bosnia and Herzegovina. The author has published one original scientific paper.