

UDK 556.3.53(497.6)(282.249 Sana)  
556.332.4(497.6)(282.249 Sana)  
911.2:556](497.6)(282.249 Sana)

Prethodno priopćenje  
*Preliminary communication*

## HIDROGEOLOŠKA KATEGORIZACIJA TERENA U PORIJEČJU SANE

### *HYDROGEOLOGICAL CATEGORISATION OF THE SANA RIVER BASIN*

MURIZ SPAHIĆ, EMIR TEMIMOVIĆ, HARIS JAHIĆ

#### Izvod

*U radu je hidrogeološki kategoriziran teren u poriječju Sane. Unutar istraživanoga prostora izdvajaju se tri hidrogeološka područja. Južni i jugozapadni dijelovi poriječja pripadaju holokrškom području jugozapadne Bosne, središnji dijelovi pripadaju srednjobosanskom području, dok su sjeverni dijelovi poriječja u sklopu ofiolitske zone. Shodno tome, u istraživanom su području dominantni tereni s vodonosnicima krško-pukotinske poroznosti, a još su izdvojeni tereni s vodonosnicima intergranularne, intergranularne i/ili pukotinske i pukotinske poroznosti te tereni bez vodonosnika.*

**Ključne riječi:** poriječje Sane, hidrogeologija, propusnost stijena, vrela

#### UVOD

Poriječje Sane obuhvaća dijelove zapadne i sjeverozapadne Bosne i Hercegovine. Navedeno područje (sl. 1) obilježava heterogenost litološkog sastava (česta izmjena vodonepropusnih i vodopropusnih stijena), izrazita rasjedna razlomljenost terena uz pojave karbonatnih slojeva, što utječe da se dubinska (hidrogeološka) razvodnica ne podudara s površinskom razvodnicom. U južnim i jugozapadnim dijelovima istraživanoga područja dolazi do nepodudaranja površinske i dubinske razvodnice i to su tereni na kojima su hidrološkim istraživanjima dokazani podzemni pravci otjecanja (ponor-vrelo) (Kanaet, 1959).

Južni i dijelovi središnjeg poriječja imaju, dakle, neутvrđenu razvodnicu (zbog ispucale karbonatne podloge i zbog brojnih rasjednih zona) tako da se ne može sa sigurnošću odrediti granica poriječja Sane prema susjednim poriječjima; Vrbasa na istoku, Plive na jugoistoku, Cetine na jugu (odnosno granica prema jadranskom slijevu koja oduvijek predstavlja problem za brojne istraživače ovog prostora), Unca na jugozapadu i Une na zapadu.

Istraživano područje odvodnjava najveći dio Bosanske Krajine. Pod pojmom Bosanske Krajine nailazi se na različit prostorni obuhvat. Bosanska Krajina smještena je između Vrbasa na istoku, Save na sjeveru, Une na zapadu, a

#### Abstract

*The paper gives a hydrogeological categorisation of the Sana River drainage basin. Three hydrogeological areas are determined within the studied drainage basin. The southern and southwestern parts of the basin belong to the holo-karst areas of southwestern Bosnia, the central area belongs to the central-Bosnian region, while the northern parts of the basin fall within the ophiolite zone. In line with this, terrain with aquifers of karst-fracture porosity are dominant. Aquifers of intergranular, intergranular and/or fracture, and fracture porosity, and terrains without aquifers were also identified.*

**Key words:** Sana River drainage basin, hydrogeology, rock porosity, springs

#### INTRODUCTION

The Sana River drainage basin lies in western and northwestern Bosnia and Herzegovina. The drainage basin (Fig. 1) is characterised by heterogeneity of the lithological composition (frequent alterations of water impermeable and permeable rocks), the pronounced fault division of the terrain, with the presence of carbonate layers. The result is that the underground (hydrogeological) watershed does not coincide with the surface drainage divide. In the southern and southwestern parts of the study area, the surface and underground watersheds do not coincide. These are terrains in which hydrological research has determined the underground routes of flow (sinkhole-spring studies) (Kanaet, 1959).

The southern and parts of the central basin area have undetermined drainage divide (due to the cracking of the carbonate substrate and the numerous fault zones), and therefore the borders of the Sana River drainage basin with the neighbouring basins cannot be determined with certainty: with the Vrbasa to the east, Pliva to the southeast, Cetina to the south (i.e. the boundary with the Adriatic drainage basin which has always presented a problem for numerous researchers in this area), Unac to the southwest and Una to the west.

The study area drains the largest part of the Bosanska Krajina region. There are various spatial interpretations for the term Bosanska Krajina. The region is situated between



Sl. 1. Poriječje Sane

Fig. 1. Sana River drainage basin

1. Orographic (surface) drainage divide, 2. Hydrogeologic (underground) drainage divide, 3. Common watershed of Sana and Pliva river basins

na jugu granicu čini planinski niz Vitorog (1907 m) - Crna gora (1651 m) - Šator (1872 m). Prema tome, poriječje Sane obuhvaća središnji dio Bosanske Krajinne zajedno sa zapadnim dijelom poriječja Vrbasa i istočnim dijelom poriječja Une.

Glede prethodnih istraživanja treba naglasiti da u geografskoj literaturi do sada nije bilo radova koji su se neposredno vezali za istraživano područje, a posebno problematike hidrogeologije. Veliku pomoć pri izradi ovoga rada pružili su radovi geološke (Jurić, 1971), hidrogeološke (Papeš i Srdić, 1978; Miošić, 1984; Ostojić, 1974) i hidrogeografske (Kanaet, 1959; Uzunović, 1958) tematike te tumač OGK 1:100000 (list Glamoč). Najvećim dijelom korišteni su rezultati disertacije o hidrogeografskim karakteristikama poriječja (Temimović, 2007).

## REZULTATI I RASPRAVA

### OSNOVNA HIDROGEOLOŠKA OBILJEŽJA ISTRAŽIVANOGA PODRUČJA

Raznovrsnost litološkog sastava, trajnost i učestalost tektonskih procesa kroz geološku prošlost, geomorfološke karakteristike terena kao i promijenljivost hidrometeoroloških faktora i elemenata uvjetuju i složenost hidrogeoloških odnosa terena poriječja Sane. Međutim, osnovni nedostatak kod prikupljanja hidrogeoloških podataka, a ovdje se prije svega misli na odnos grubih i finih klastita, propusnost, poroznost, kemijsku analizu vode, podzemne vode i njihova obilježja i dr., pokrivenost je terena i nemogućnost izravnog promatranja slojeva, odnosno, nedostatak odgovarajućih istražnih radova. Zbog toga se podaci u hidrogeologiji teško i dugotrajno prikupljaju. U nastavku su navedena hidrogeološka stanja poriječja Sane. Unutar poriječja izdvojene su tri hidrogeološke jedinice. Južni i jugozapadni dijelovi poriječja pripadaju holokrškom području jugozapadne Bosne, središnji dijelovi pripadaju srednjobosanskom području, a sjeverni dijelovi istraživanoga područja su u sklopu ofiolitske zone.

### HIDROGEOLOŠKE JEDINICE PORIJEČJA SANE

Prema hidrogeološkoj regionalizaciji stjenskih masa, istraživano područje se može podijeliti u tri izdvojene jedinice (sl. 2). Prva, najveća i najznačajnija jedinica obuhvaća južne, jugozapadne, istočne i dijelove sjevernog poriječja, a to su tereni s vodonosnicima krško-pukotinske poroznosti. Propusnost i transmisivnost ovih terena vrlo su veliki zbog velike debljine stjenskih masa. Najsnažnija vrela unutar poriječja upravo se nalaze na ovim terenima (Temimović, 2009). Drugu jedinicu čine propusne stijene s intergranularnom, intergranularnom i/ili pukotinskom te pukotinskom poroznosti. Propusne stijene najboljih hidro-

the Vrbas River to the east, Sava River to the north, Una River to the west while the mountain chain Vitorog (1907 m) – Crna Gora (1651 m) – Šator (1872 m) forms the border to the south. With this, the Sana catchment lies in the middle of Bosanska Krajina, together with the western parts of the Vrbas catchment and the eastern part of the Una catchment.

There are no data in the geographic literature to date that are directly connected to this study area, particularly concerning the issues of hydrogeology. In this study, geological (Jurić, 1971), hydrogeological (Papeš & Srdić, 1978, Miošić, 1984, Ostojić, 1974) and hydrogeographical (Kanaet, 1959, Uzunović, 1958) papers and maps in the scale 1:100,000 (Glamoč sheet) contributed in this study. The results of a dissertation on the hydrogeographical characteristics of the catchment (Temimović, 2007) were also used.

## RESULTS AND DISCUSSION

### BASIC HYDROGEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE STUDY AREA

The diversity of the lithological composition, duration and frequency of tectonic processes throughout geological history, the geomorphological characteristics of the terrain and the changeability of hydrometeorological factors and elements created the complex hydrogeological relations within the Sana catchment area. However, in the collection of hydrogeological data (primarily the relations between coarse and fine clastites, permeability, porosity, chemical analysis of water, ground water and their properties, etc.), a fundamental shortcoming is the ground cover and the inability to directly observe the layers, in addition to the lack of appropriate research studies. For this reason, data in hydrogeology are difficult to collect and their collection takes a long period of time. The hydrogeological status of the Sana River basin is presented below. The catchment is divided into three hydrogeological units. The southern and southwestern parts of the catchment belong to the holokarst area of southwestern Bosnia, the central section belongs to the central Bosnian region, and the northern sections of the study area fall within the ophiolite zone.

### HYDROGEOLOGICAL UNITS OF THE SANA RIVER BASIN

In terms of the hydrogeological regionalisation of the rock mass, the study area can be divided into three separate units (Fig. 2). The first, largest and most significant unit includes the southern, southwestern, eastern and sections of the northern part of the drainage basin. These are terrains with aquifers of karst-fracture porosity. The permeability and transmissivity of these terrains is very high, due to the great thickness of the rock mass. The most abundant spring within the catchment is found in this type of terrain (Temimović, 2009). The second unit are the permeable

geoloških karakteristika s najznačajnijim akumulacijama podzemnih voda nalaze se u sjevernom dijelu poriječja, na terenima zavale Prijedorsko-omarskog polja. U aluvijalnim i proluvijalnim naslagama navedenoga prostora podzemne su vode slobodnoga vodnog lica i subarteške, a u pliocenskim pjescima arteške i subarteške. Količina podzemnih voda procijenjena je na  $Q = 218 \times 10^6 \text{ m}^3$  (Ostojić, 1974). Treću jedinicu čine tereni s nepropusnim stijenama koju izgrađuju praktično nepropusne i pretežno nepropusne stjenске mase. Infiltracija atmosferskih voda vrlo je spora, a ovi tereni se odlikuju vrlo gustom hidrografskom mrežom površinskih tokova, s brojnim potocima i rječicama. Ova jedinica uključuje terene Sansko-enskog paleozoika tj. sjeverne i središnje dijelove poriječja, te manji prostor između Ključa i Sanice.

Pregled u okomitom presjeku nije jednostavno prikazati zbog pokrivenosti terena i brojnih tektonskih i facijalnih diskontinuiteta. U kvartarnim naslagama (naslage zavale Prijedorsko-omarskog polja) izdvaja se prvi vodonosni horizont s vodom slobodne površine i niz arteških i subarteških horizonata. Prvi vodonosni sloj uglavnom sadrži procjednu vodu, a horizont je isprekidan, što dovodi do velikog kolebanja u dubinama do vode. Njegovo cjelovito protezanje može se pretpostaviti u pojasevima uzduž riječnih i većih potočnih dolina. Također, nesumnjivo je postojanje većega broja arteških i subarteških horizonata s obzirom na postojeću izmjenu sitnozrnatih i grubozrnatih klastičnih slojeva po dubini.

### **1. Tereni s vodonosnicima krško-pukotinske poroznosti**

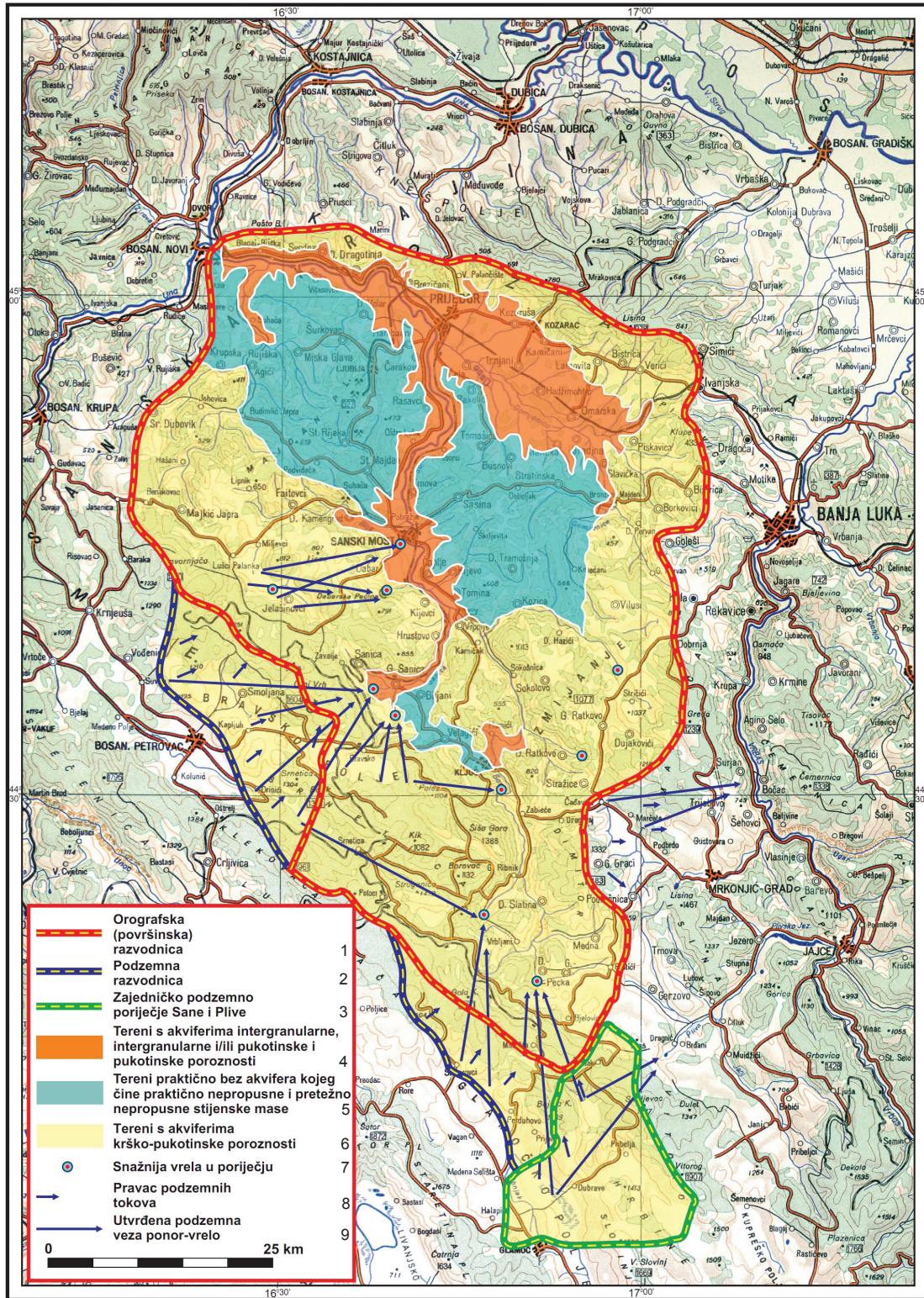
Prva hidrogeološki kategorizirana jedinica su tereni s vodonosnicima krško-pukotinske poroznosti. Linijom Bosanska Krupa - Sanski Most – Ključ - vrela Plive završava prema sjeveru velika krška cjelina Vanjskih Dinarida Bosne i Hercegovine. Jugozapadno od ove zamišljene linije nalazi se većina terena s vodonosnicima krško-pukotinske poroznosti unutar poriječja. Ostala područja se nalaze na istočnoj razvodnici (Manjača, Zmijanje i Piskavica) te na padinama Kozare (od Svodne do Bistrice) (Temimović, 2009). Duž već spomenute linije prazne se moćne, pretežno mezozojske karbonatne naslage na snažnim krškim vrelima. Vrela su silazno prelijevno mehanizma i javljaju se na kontaktu vapnenačkih stijena koje leže na vodonepropusnim verfenskim i paleozojskim stijenama. Vapnenci ovoga područja u načelu su propusni, a i dobre transmisivnosti zbog velike debljine. Ako su interkalirani ili uklješteni nepropusnim naslagama, kao cjelina mogu tvoriti i podzemnu hidrološku barijeru. Uloga dolomita u ovome je području složenija. Ako se nalazi u jezgri antiklinale, gotovo bez iznimke predstavlja potpunu podzemnu hidrološku barijeru. Zbog posebnih petrofizičkih svojstava izrazito se

rocks with intergranular, intergranular and/or fracture, and fracture porosities. Permeable rocks with the best hydrogeological characteristics and the most significant accumulation of ground waters are found in the northern part of the catchment, on the floor of the Prijedorsko-Omarsko Polje. In the alluvial and proluvial deposits of this area, the ground waters have a free water table and are subartesian, while in the Pliocene sands they are artesian and subartesian. The quantity of ground water is assessed at  $Q = 218 \times 10^6 \text{ m}^3$  (Ostojić, 1974). The third unit are terrains with impermeable rocks that form virtually impermeable and poorly permeable rock masses. The infiltration of atmospheric water is very slow and these terrains are characterised by a very dense hydrographic network of surface waters, and numerous streams and brooks. This unit include the terrains of the Sana-Una Palaeozoic deposits, i.e. the northern and central parts of the catchment, and a small area between Ključ and the Sanica River.

The cross-section is not simple to depict due to the ground cover and numerous tectonic and facial discontinuities. The first aquifer horizon with a free water table and a series of artesian and subartesian horizons is found in the Quaternary deposits (deposits of the floor of the Prijedorsko-Omarsko Polje). The first aquifer layer primarily contains infiltrated water, and the horizon is interrupted, leading to great fluctuations in the depths to water. Its entire expanse can be assumed to be in the belts along the river valleys and most of the stream valleys. Also, the presence of a larger number of artesian and subartesian horizons is certain, due to the existing alternation of fine and coarse-grained clastic layers by depth.

### **1. Terrains with aquifers of karst-fracture porosity**

The first hydrogeologically categorised unit the terrains with aquifers of karst-fracture porosity. The massive karst area of the Outer Dinarides of Bosnia and Herzegovina borders on the north along the line Bosanska Krupa - Sanski Most – Ključ – Pliva spring. The majority of aquifers of karst-fracture porosity within the catchment lie southwest of this imaginary line. Other areas lie along the eastern divide (Manjača, Zmijanje and Piskavica), and on the slopes of Mt. Kozara (from Svodna to Bistrice) (Temimović, 2009). Along this line, the powerful, primarily Mesozoic carbonaceous deposits empty into the abundant karst springs. The springs are of a gravity type, and appear at the contact of the limestone rocks and the impermeable Werfenian and Palaeozoic rock upon which they lay. The limestones of this region are generally permeable, with good transmissivity due to their great thickness. If they are intercalated or wedged by impermeable deposits, as a whole they can create a subterranean hydrological barrier. The role of dolomite rock in this area is very complex. If it is found in the anticlinal core, almost without exception it represents a completely subterranean hydrological barrier. Due to the specific petrophysical properties, the Upper Triassic dolomite stands out for its poor permeability.



Sl. 2. Hidrogeološka kategorizacija poriječja Sane

Fig. 2. Hydrogeological categorisation of the Sana River basin

1. Orographic (surface) drainage divide, 2. Hydrogeologic (underground) drainage divide, 3. Common watershed of Sana and Pliva river basins, 4. Permeable rocks with intergranular, intergranular and/or fracture and fracture porosity, 5. Mainly impermeable rocks or poorly permeable rocks, 6. Karst-fracture porosity unit, 7. High-yield springs, 8. General direction of underground flow, 9. Proven underground connection sinkhole → spring

slabom propusnošću odlikuje gornjotrijaski glavni dolomit. Brojniji su primjeri gdje su dolomiti odigrali ulogu važnih barijera. Oni grade razvodnicu između Jadranskog i Crnog mora u Glamočkom polju, odnosno razdvajaju poriječja Sane i Plive sa jedne strane i poriječje Cetine sa druge strane. Međutim, dolomiti nisu samo barijere, već su vodo-propusni kada se nalaze u krilima bora ili u terenima gdje prevladava rasjedna tektonika, posebno kada su pritom u čestoj izmjeni s vapnencima (Ahac, Papeš i Rajić, 1978).

Klastiti mlađeg paleozoika i donjeg trijasa predstavljaju potpunu podzemnu barijeru. U tim područjima nema značajnijih pojava vapnenačkih stijena starijih od tih klastita. Zbog toga, a i zbog značajne debljine, te rasprostranjenja u cijelom prostoru, ti se klastiti mogu slobodno smatrati "bazom krša" jer predstavljaju donju granicu do kuda krški proces može prodrijeti u dubinu.

Klastiti neogena ispunjavaju mnoge zavale polja u kršu. Dijelom predstavljaju viseće podzemne barijere koje samo za visokih podzemnih vodostaja prisiljavaju podzemne vode da se prelijevaju preko njih, dok za niskih pa i srednjih vodostaja podzemne vode protiču ispod njih. Kvartarne naslage ovoga područja imaju lokalno značenje. Zanimarivih su debljina, uglavnom propusne, ali bezvodne (Ahac, Papeš i Rajić, 1978).

Hidrogeološki i tektonski odnosi ovaj prostor razgraničavaju u dva pojasa: pojas Visokog krša i pojas fluvio-krša (Ahac, Papeš i Rajić, 1978). Pojas Visokog krša izgrađuju gotovo isključivo mezozojske karbonatne naslage, među kojima prevladavaju jurski i kredni vapnenci. U ovome je pojasu značajna rasjedna tektonika, od normalnih i reverzibilnih rasjeda do velikih navlačnih struktura. Tu se javljaju svi površinski i podzemni krški reljefni oblici. Ovaj se pojas ističe neskladom između površinskih i podzemnih razvodnica, poniranjem površinskih tokova, velikim brojem prostranih zavalu polja u kršu, račvanjem podzemnih tokova itd. Naročito se ističe stepenasto dizanje Dinarskog gorja. Te stepenice u kombinaciji s vrlo velikom propusnošću vapnenaca i potpunom ili djelimičnom uspornom ulogom dolomita, uvjetuju kaskadno otjecanje podzemnih voda do neponirućeg površinskog vodotoka. Upravo su vrela Sane te južni i jugozapadni dijelovi njezina poriječja unutar pojasa Visokog krša.

Vrela Sane napajaju se s površine veličine oko 400 km<sup>2</sup>, a prihranjuju se koncentrirano iz Glamočkog polja (ponori Mladeškovci i Podgreda), a sa vrelima Plive dijele zonalnu podzemnu razvodnicu (ponor Čardak Livade komunicira s vrelima Sane i Plive) (Uzunović, 1958). Izdašnost vrela Sane je sljedeća:  $Q_{\min} = 1,65 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{\text{sr}} = 8 \text{ m}^3/\text{s}$  i  $Q_{\max} = 50 \text{ m}^3/\text{s}$ . Na ovim vrelima prazne se i krški tereni Mliništa i dijela Barača (Uzunović, 1958).

Tereni Popovića, Rora, Potoka i Snetice gravitiraju vrelu Ribnika, prvom značajnijem lijevom pritoku Sane.

There are numerous examples where dolomite play a role as an important barrier. They create divides, such as those between the Adriatic Sea and Black Sea basins in Glamočko Polje, or the divide between the Sana and Pliva River drainage basins on the one hand, and the Cetina drainage basin on the other. However, dolomites do not only form barriers. They are permeable if situated in the flanks of folds or in terrains dominated by fault tectonics, particularly when they are in frequent alternation with limestones (Ahac, Papeš & Rajić, 1978).

The clastites of the Lower Palaeozoic and Lower Triassic represent complete subterranean barriers. In these areas, there are no significant appearances of limestone rock older than those clastites. For that reason, and also due to their substantial thickness and their distribution throughout the area, these clastites can be considered the 'base of the karst', as they represent the depth boundary to which the karst process can penetrate.

The clastites of the Neogenic fill many of the karst fields. These partially represent hanging subterranean barriers, which only during periods of a high water table force the ground water to spill over them, while during low or moderate water levels, the ground water flows under them. The Quaternary deposits of this area have local significance. They are of negligible thickness and are primarily permeable, though they are waterless (Ahac, Papeš & Rajić, 1978).

The hydrogeological and tectonic relations of this area divided it into two belts: the high karst belt and the fluvio-karst belt (Ahac, Papeš & Rajić, 1978). The high karst belt is built almost exclusively of Mesozoic carbonaceous deposits, dominated by Jurassic and Cretaceous limestones. This belt is characterised by significant fault tectonics, from normal and reserve faults, to large slip structures. All surface and underground karst relief forms appear in this belt. There is discord between the surface and subterranean catchments, with the sinking of surface watercourses, and the large number of wide karst fields, the bifurcations of subterranean flows, etc. The stepwise lifting of the Dinaric hills is of particular note. These steps, in combination with the very high permeability of the limestone and full or partial barrier role of the dolomite, cause the cascade-like flow of ground waters towards the non-sinking surface watercourses. The Sana Spring lies within the high karst belt.

The Sana Spring is fed from an area about 400 km<sup>2</sup> in size, and is fed primarily from Glamočko Polje (sinkholes Mladeškovci and Podgreda). It shares the zonal subterranean divide with the Pliva springs (the sinkhole Čardak Livade communicates with both the Sana and Pliva springs) (Uzunović, 1958). The abundance of the Sana Spring is as follows:  $Q_{\min} = 1.65 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{\text{sr}} = 8 \text{ m}^3/\text{s}$  and  $Q_{\max} = 50 \text{ m}^3/\text{s}$ . The karst terrains at Mliništa and part of Barači are drained by these springs (Uzunović, 1958).

The terrains of Popović, Rora, Potok and Snetica gravitate towards the Ribnik spring via the first larger left tributary of the Sana River. The spring exists due to the

Vrelo je uvjetovano postojanjem verfenskih sedimenata u podini mezozojskih karbonata. Izdašnost vrela je  $Q_{\min} = 1,25 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{\max} = 60 \text{ m}^3/\text{s}$  (Kanaet, 1959). Krški tereni Grmeča prazne se na nekoliko značajnijih vrela. Vrela Sanice ( $Q_{\min} = 0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{\max} = 50 \text{ m}^3/\text{s}$ ) i Korčanice (desni pritok Sanice u blizini vrelske zone) predstavljaju izdanke velike akumulacije podzemnih voda stvorenih u istočnim dijelovima masiva Grmeč i širem području Bosanski Petrovac-Bravsko. Područje prihvata voda ovih vrela iznosi oko  $500 \text{ km}^2$ . Vrela su uvjetovana dubokim denudacijsko-erozijskim zasjekom u vapnencima, koji je dosegao do svoje nepropusne podine tako da permotrijaski sedimenti čine podinsku i bočnu barijeru i uvjetuju pražnjenje podzemnih voda. Ova dva vrela predstavljaju praktično jedno šire izvorište (Miošić, 1984).

Na vrelima Dabra ( $Q_{\text{sr}} = 3,4 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{\max} = 70 \text{ m}^3/\text{s}$ ) i Zdene ( $Q_{\min} = 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{\max} = 5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) prazne se podzemne vode istočnoga dijela Grmeča i Jelašinovačkog polja. Privilegiraniji pravci kretanja su prema Dabru, a razvodnicu prema Sanici čini antiklinala izgrađena od stijena trijaski i jurske starosti. Već prije je navedeno da je Jelašinovačko polje za visokih voda plavljeno izlivanjem grmečke akumulacije na brojnim povremenim vrelima od kojih je najznačajnije Oko ( $Q_{\text{pr}} = 50 \text{ m}^3/\text{s}$ ) (Miošić, 1984).

Pojas fluvio-krša u istraživanom području obuhvaća masiv Dimitor te šire područje zaravni Manjača – Stričići – Zmijanje - Golija. Drugi nazivi za ovaj pojas su djelimični krš, unutrašnji krš, merokarst ili plitki krš (Ahac, Papeš i Rajić, 1978). Bez obzira na to koji je od naziva primjereniji, osnovna karakteristika jest da je to krški pojas s postojanjem (stalnih) površinskih tekućica. Podzemne vode, koje nastaju infiltracijom padalina u dobropropusnim karbonatnim naslagama, brzo se vertikalno procjeđuju do više-manje povezanog vodonosnika kojime dalje pod vrlo blagim padom protječe do stalnog površinskog vodotoka. Pravih ponornica nema, izostaju zavale polja u kršu i estavele. Dominantan krški oblik je vrtača. Na površini terena ili plitko pod njim je "baza krša" tj. donjotrijaski klastiti. Ovaj plitki krš uvjetuje stvaranje prilično guste površinske mreže tekućica (Sana, Medljanska rijeka, Rastoka, Stražička rijeka, Banjica, Sokošnica, Kozica, Sasinska rijeka itd.). Gdje god je korito vodotoka na klastitima ili gdje se rijeka dublje usjekla u trijaski karbonatne naslage, vodotok je stalan i predstavlja dren podzemnih voda. U području masiva Dimitor stvorene su manje akumulacije podzemnih voda u trijaskim okršenim vapnencima, odvojene donjotrijaskim i paleozojskim podinskim barijerama. Područje Manjača – Stričići – Zmijanje - Golija pripada razvodu između Sane i Vrbasa.

Pražnjenje sa fluvio-krša obilnije je i intenzivnije u kanjonu rijeke Vrbas, a manjim je dijelom zastupljeno na izvorištu Banjice ( $Q_{\min} = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{\max} = 6 \text{ m}^3/\text{s}$ ) i Kozice

presence of Werfenian sediments at the floor of Mesozoic carbonates. The abundance of the spring is:  $Q_{\min} = 1.25 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{\max} = 60 \text{ m}^3/\text{s}$  (Kanaet, 1959). The karst terrain of Grmeč is drained by several significant springs. The Sanica Spring ( $Q_{\min} = 0.8 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{\max} = 50 \text{ m}^3/\text{s}$ ) and Korčanica Stream (right tributary of the Sanica River in the proximity of the spring zone) represent extensions of large accumulations of ground waters created in the eastern parts of the Grmeč massif and the broader area of Bosanski Petrovac - Bravsko. The water reception area of these springs is about  $500 \text{ km}^2$ . The springs are due to the deep denuded-erosion cut into the limestone, which reached the impermeable floor, so that the Permo-Triassic sediments form the floor and flanks of the barrier and cause the emptying of the ground water. These two springs essentially represent one extended spring area (Miošić, 1984).

At the Dabar ( $Q_{\text{avg}} = 3.4 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{\max} = 70 \text{ m}^3/\text{s}$ ) and Zdena springs ( $Q_{\min} = 0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{\max} = 5 \text{ m}^3/\text{s}$ ), the groundwaters of the eastern part of Grmeč as well as Jelašinovačko Polje are drained. The primary flow routes are towards the Dabar, and the divide towards the Sanica is formed by an anticline built of Triassic and Jurassic rock. It was previously stated that due to high waters, Jelašinovačko Polje is flooded by the release of the Grmeč accumulation at numerous temporary springs, the most abundant of which is Oko ( $Q_{\text{avg}} = 50 \text{ m}^3/\text{s}$ ) (Miošić, 1984).

In the study area, the fluvio-karst belt in the study area includes the Dimitor massif and the broader area of the Manjača – Stričići – Zmijanje - Golija plateau. Other names for this belt include partial karst, interior karst, mero-karst or shallow karst (Ahac, Papeš & Rajić, 1978). Regardless of which name is more applicable, the basic characteristics is that this is a karst belt with permanent surface watercourses. Groundwater, which arises through infiltration of precipitation through highly permeable carbonate layers, is quickly filtered vertically to more or less connected aquifers, which continue to drop under a very gentle slope to the permanent surface watercourses. There are no true sinkholes, there are no karst fields or estaveles. The dominant karst form are *dolines* (funnel-shaped depressions). On the surface of the terrain or shallow under the surface is the "karst base", i.e. Lower Triassic clastites. This shallow karst causes the creation of a fairly dense surface network of watercourses (rivers: Sana, Medljanska, Rastoka, Stražička, Banjica, Sokošnica, Kozica, Sasinska, etc.). Wherever the riverbed lies on clastites or where the river cuts through Triassic carbonaceous layers, the watercourse is permanent and represents a drain of the groundwaters. In the area of the Dimitor massif, smaller accumulations of groundwater have been formed in the karstified Triassic limestones, separate by the Lower Triassic and Palaeozoic floor barriers. The area Manjača – Stričići – Zmijanje - Golija forms part of the divide between the Sana and Vrbas catchments.

Drainage from fluvio-karst is more abundant and intensive in the Vrbas River canyon, and less represented at the springs Banjica ( $Q_{\min} = 0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{\max} = 6 \text{ m}^3/\text{s}$ ) and Kozica

( $Q_{\min} = 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{\max} = 20 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Ova vrela dreniraju dijelove krških terena Stričića, Zmijanja i Sokolova, a javljaju se u razini erozijsko-denudacijske baze, u neposrednoj blizini verferskih nepropusnih stijena (Miošić, 1984).

Izvorišno područje Gomjenice (najvažniji desni pritok Sane) nalazi se u prostoru pukotinsko-kaverozne poroznosti. Ovoj kategoriji pripadaju uslojeni do masivni i bankoviti karbonati. Izdašnost izvorišta Gomjenice iznosi  $Q_{pr} = 170 \text{ l/s}$ , a i zbog brojnih pritoka (Bistrica, Krivaja, Stupnica, Subotica, Kozaruša itd.) Gomjenica je stalni vodotok (Ostojić, 1974).

U terene sa vodonosnicima krško-pukotinske poroznosti ulaze i dijelovi poriječja na krajnjem sjeveru (padine Kozare od Svodne do Bistrice). Na ovome se području nalazi nekoliko izvora značajnih kapaciteta. Izvori Vodenice (Lamovita) izbijaju iz masivnih i ispucalih vapnenaca, duž jedne pukotine na kontaktu s pješčenjacima (Ostojić, 1974). Pripadaju razbijenom izvorištu, a ocjednog su tipa. Ukupna izdašnost ovih izvora iznosi od 20 do 30 l/s. U blizini je i izvor Vučkovci koji izbija na kontaktu masivnih vapnenaca i škriljaca. Ocjednog je tipa i izdašnosti od 5 do 10 l/s. Nizvodno od Prijedora, u dolini Svodne, nalazi se istoimeni izvor izdašnosti cca 5 l/s. Izvor izbija na nekoliko mjesta iz drobine srednjotrijaskih laporovitih vapnenaca. Pripada razbijenom izvorištu, a silaznog je tipa (Ostojić, 1974).

## **2. Tereni s vodonosnicima intergranularne, intergranularne i/ili pukotinske i pukotinske poroznosti**

Ovi su tereni građeni od pijesaka, glina i šljunaka pliokvartarne i kvartarne starosti. Ovdje se nalaze najveće i najznačajnije akumulacije podzemne vode u poriječju, a mogu biti sa slobodnim vodnim licem, arteške i subarteške (Temimović, 2009). U proluvijalnim sedimentima akumulirane podzemne vode gravitacijski otječu prema aluvijalnim naslagama. Tereni s ovakvim karakteristikama se unutar istraživanog područja nalaze u zavali Prijedorско-omarskog polja, u dolini Sane od ušća pa uzvodno do Ključa s proširenjima kod Prijedora, Sanskog Mosta i nizvodno od Ključa (Humići, Zgon).

U području naselja Omarska pjeskovito-šljunkoviti nanos rijeke Gomjenice veće je debljine (do 30 metara), ali s nižim filtracijskim karakteristikama u odnosu na šljunke u dolini Sane. Prema ranijim hidrogeološkim istraživanjima specifična izdašnost bunara u šljuncima i pijescima iznosi:  $Q_{sr} = 10\text{-}20 \text{ l/s}$ ,  $Q_{\max} = 300 \text{ l/s}$  (Ostojić, 1974).

## **3. Tereni bez vodonosnika**

Treća hidrogeološki kategorizirana jedinica poriječja Sane su tereni bez vodonosnika. Unutar ovih terena iz-

( $Q_{\min} = 0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{\max} = 20 \text{ m}^3/\text{s}$ ). These springs drain the parts of the karst terrains of Stričići, Zmijanje and Sokolovo, and appear at the level of the erosion-denudation base, in the direct proximity to impermeable Werferin rock (Miošić, 1984).

The spring area of the Gomjenica River (the largest right tributary of the Sana River) lies in an area of fracture-cavern porosity. This category includes layered to massive and banked carbonates. The discharge of the Gomjenica spring is  $Q_{avg} = 170 \text{ l/s}$ , and due to its numerous tributaries (Bistrica, Krivaja, Stupnica, Subotica, Kozaruša, etc.), Gomjenica is a permanent watercourse (Ostojić, 1974).

The northernmost parts of the catchment also fall into terrains with aquifers of karst-fracture porosity (slopes of Mt. Kozara from Svodna to Bistrica). There are several springs of high capacity in this area. The Vodenica springs (Lamovita) erupt from massive and fractured limestones, along a fracture in contact with sandstones (Ostojić, 1974). They belong to the fracture spring type, and are of a drainage type. The total discharge of these springs is 20 to 30 l/s. Nearby is the Vučkovci spring, which arises at the contact of massive limestones and slate. It is a drainage type, with a discharge of 5 to 10 l/s. Downstream from Prijedor, in the Svodna Valley, the spring of the same name has a discharge of approximately 5 l/s. The spring rises at several sites from the crushed Middle Triassic marly limestones. It belongs to the fracture spring type, and is of a descending type (Ostojić, 1974).

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

These terrains are made up of sand, clay and gravel of Plioquaternary and Quaternary age. These are also the sights of the largest and most significant accumulations of ground water in the catchment, and can have a free water table, or be artesian or subartesian (Temimović, 2009). In the proluvial sediments, accumulated ground water runs gravitationally towards the alluvial deposits. Terrains with such characteristics in the study area are found in the floor of the Prijedorско-Omarsko Polje, in the Sana River valley from the mouth upstream to Ključ, with expansions near Prijedor, Sanski Most and downstream from Ključ (Humići, Zgon).

Near the settlement Omarska, the sand-gravel deposits of the Gomjenica River are of greater thickness (up to 30 metres), though these have lower filtration characteristics in comparison to the gravels in the Sana Valley. Based on earlier hydrogeological research, the specific discharge of the well in the gravels and sands is:  $Q_{avg} = 10\text{-}20 \text{ l/s}$ ;  $Q_{\max} = 300 \text{ l/s}$  (Ostojić, 1974).

## **3. Terrains without aquifers**

The third hydrogeological unit categorised within the Sana River basin are those without aquifers. These terra-



dvajaju se pretežno nepropusni kompleksi (permotrijas) i praktično nepropusne stijene. Pretežno nepropusne komplekse predstavljaju stjenске mase permotrijasa. Ovdje se ubrajaju pješčenjaci, konglomerati i gline vrlo slabe vodopropusnosti i transmisivnosti. Rijetki izdanci podzemnih voda dreniraju se preko izvora izdašnosti do 0,5 l/s i to iz ispućalih pješčenjaka i konglomerata. Stijene ovakvih hidrogeoloških obilježja unutar poriječja se nalaze u dva relativno izdvojena područja. Prvo područje je vezano za dijelove Sansko-unskog paleozoika, a drugo se prostire na terenima između Ključa i Sanice. Zbog obilježja terena izgrađenog najvećim dijelom od klastičnih vodonepropusnih stijena, Sansko-unski paleozoik veoma je bogat površinskim vodama, tj. ima gustu hidrografsku mrežu. U površinskom dijelu vode se sakupljaju u potocima i manjim rječicama, kojih je velik broj (preko 40 duljeg toka od 5 km i preko 100 duljeg toka od 2 km) (Temimović, 2009). Izvori su stvoreni u raspadnutim i tektonskim jače oštećenim zonama, a izdašnost im je veoma mala (0,5-3 l/min). U sušnom periodu godine presuše ili se njihova izdašnost veoma smanjuje. Rijetki su nešto jači izvori, vezani za mramorne leće, za mase amfibolita, ili za deblje horizonte pješčenjaka, odnosno kvarcita. Takvi izvori imaju izdašnost do 1 l/s, a registrirani su na Runjevici, Vukulji, Sasini, Stratinskoj, Briševu, Redku i Raļašu (Jurić, 1971).

## ZAKLJUČAK

Cilj rada bio je prikazati osnovnu hidrogeološku kategorizaciju terena poriječja Sane. Dodatni značaj leži u tome da ova kategorizacija može biti primjer kako provoditi istraživanja i u ostalim značajnijim poriječima u Bosni i Hercegovini, kako u crnomorskom tako i u jadranskom slijevu.

Površina poriječja Sane ograničena površinskom razvodnicom iznosi oko 3740 km<sup>2</sup>. U južnom dijelu poriječja izdvojeno je zajedničko podzemno sljevno područje Sane i Plive površine oko 320 km<sup>2</sup>, zona sjeverozapadnog dijela Glamoćkog polja koja se podzemnim vezama odvodnjava prema vrelima Sane i Ribnika (oko 175 km<sup>2</sup>) te zone Bravskog polja i jugoistoćnog dijela Petrovaćkog polja (Drinić) koje se podzemnim vezama odvodnjavaju prema vrelima Sanice, Korćanice, Dabra i nekim manjim vrelima jugozapadnog dijela poriječja (oko 280 km<sup>2</sup>). Prema tome, ukupna površina poriječja Sane procijenjena je na oko 4520 km<sup>2</sup> zbog podzemne hidrogeološke razvodnice (u određivanju površine poriječja korištene su uobičajene kartografske metode, i to na kartografskim podlogama u mjerilu 1:50.000 i 1:100.000).

Istraživano područje obilježava izrazita tektonska razlomljenost i heterogenost litološkog sastava, odnosno česta izmjena vodonepropusnih i vodopropusnih stijena uz

ins are characterised by predominantly impermeable complexes (Permo-Triassic) and practically impermeable rock. The predominantly impermeable complexes represent rock mass of Permo-Triassic age. These include sandstones, conglomerates and clays with very poor permeability and transmissivity. The rare extensions of ground waters are drained via springs with a discharge of up to 0.5 l/s from cracked sandstones and conglomerates. Rocks with such hydrogeologic properties within the basin are found in two relatively isolated areas. The first is tied to the sections of Sana-Una Palaeozoic, the second extends in terrains between Ključ and the Sanica River. Due to the properties of the terrain, made primarily of clastic impermeable rock, the Sana-Una Palaeozoic area is very rich in surface waters, i.e. it has a dense hydrographic network. In surface areas, water accumulates in a large number of streams and small rivers (there are over 40 watercourses longer than 5 km and over 100 longer than 2 km) (Temimović, 2009). Springs are created in eroded and tectonically damaged zones, and their discharge is very low (0.5-3 l/min). In the dry period, they dry up completely or their abundance is strongly reduced. Stronger springs are less common, and tied to marble lenses, amphibolite masses or thicker sandstone or quartz horizons. Such springs have a discharge of up to 1 l/s, and have been registered at Runjevica, Vukulja, Sasina, Stratinska, Briševu, Redak and Raļaš (Jurić, 1971).

## CONCLUSION

The objective of this study was to provide an overview of the basic hydrogeological categorisation of the Sana River drainage basin. This categorisation could serve as a model for future studies in other large river catchments in Bosnia and Herzegovina, in both the Danube and Adriatic basins.

The Sana River basin, within the limits of its surface divide, covers an area of about 3740 km<sup>2</sup>. In the southern part of the basin, the subterranean catchment shared by the Sana and Pliva Rivers, with an area of about 320 km<sup>2</sup>, is separated from the zone of the northwestern part of Glamoćko Polje, in which ground waters are drained towards the Sana and Ribnik springs (area of about 175 km<sup>2</sup>) and the zone of Bravsko Polje and the southeastern part of Petrovaćko Polje (Drinić), where ground waters are drained towards the Sanica, Korćanica and Dabar springs, and several other smaller springs in the southwestern part of the catchment area (about 280 km<sup>2</sup>). Therefore, the total surface area of the Sana River basin is estimated at about 4520 km<sup>2</sup> due to the subterranean hydrogeological divides (calculation of the surface area of the catchment basin was made using standard cartographic methods, on cartographic maps in scale of 1:50,000 and 1:100,000).

The study area is marked by pronounced tectonic fragmentation and heterogeneity of the lithological system, with frequent alterations of water impermeable and perme-

mjestimičnu pojavu krške hidrografije, što je utjecalo da se dubinska (hidrogeološka) razvodnica ne podudara s površinskom. Prema hidrogeološkoj kategorizaciji stijenskih masa istraživano se područje može podijeliti na tri hidrogeološke jedinice. Najveća i najznačajnija jedinica su tereni s vodonosnicima krško-pukotinske poroznosti. Najsnažnija vrela unutar istraživanog područja upravo su stvorena na ovim terenima (vrela Sane, Ribnika, Sanice, Korčanice, Dabra, Zdene, Banjice, Kozice i dr.) i ta su vrela najčešće silazno-preljevno mehanizma. Hidrogeološki i tektonski odnosi ovaj prostor razgraničavaju u dva pojasa: pojas Visokog krša i pojas fluvio-krša.

Druga hidrogeološka jedinica je predstavljena propusnim stijenama gdje su zastupljene stijenske mase intergranularne, intergranularne i/ili pukotinske i pukotinske poroznosti. Propusne stijene najboljih hidrogeoloških karakteristika s najznačajnijim akumulacijama podzemnih voda nalaze se u sjevernom dijelu istraživanog područja na terenima zavale Prijedorsko-omarskog polja.

Treću hidrogeološku jedinicu čine tereni s nepropusnim stijenama koju izgrađuju praktično nepropusne i pretežno nepropusne stijenske mase. Infiltracija atmosferskih voda je vrlo spora, a ovi se tereni odlikuju vrlo gustom hidrografskom mrežom površinskih tokova, s brojnim potocima i rječicama. Ova jedinica izgrađuje terene Sansko-enskog paleozoika te manji prostor između Ključa i Sanice.

able rocks, with the occasional appearance of karst hydrography. The result of this is that the subterranean (hydrogeological) catchment does not correspond to the surface catchment. Based on the hydrogeological categorisation of the rock mass, the study area can be divided into three hydrogeological units. The largest and most significant are the terrains with aquifers of karst-fracture porosity. The strongest springs in the study area lie in these terrains (springs Sana, Ribnik, Sanica, Korčanica, Dabar, Zdena, Banjica, Kozica, etc.) and these springs are most often of a transitional-drainage mechanism. The hydrogeological and tectonic relations of this area can be further divided into two belts: the high karst belt and the fluvio-karst belt.

The second hydrogeological unit is presented by the permeable rocks represented by rock mass of intergranular, intergranular and/or fracture, and fracture porosity. The permeable rock with the best hydrogeological characteristics and the most significant accumulations of ground waters are found in the northern section of the study area, in the terrains of the basin of the Prijedorsko-Omarsko Polje.

The third hydrogeological unit is comprised of terrains with impermeable rocks that form practically impermeable and poorly permeable rock masses. The infiltration of atmospheric water is very slow, and these terrains are characterised by a very dense hydrographic network of surface watercourses, with numerous streams and rivers. This unit is made up of the terrains of the Sana-Una Palaeozoic, and smaller areas between Ključ and the Sanica River.

## LITERATURA / LITERATURE

- Ahac, A., Papeš, J., Rajić, V. (1978.): *Osnovna geološka karta 1:100.000*, Tumač za list Glamoč, SGZ, Beograd, 52.
- Jurić, M. (1971.): *Geologija područja Sanskog paleozoika u Sjeverozapadnoj Bosni*, Posebno izdanje Geološkog glasnika, br. 11., Sarajevo, 147.
- Kanaet, T. (1959.): O nekim problemima hidrografije u slivu rijeke Plive, *Geografski pregled*, br. 3., 37-62., Sarajevo.
- Miošić, N. (1984.): Osnovne karakteristike podzemnih voda Bosne i Hercegovine, u: *Zbornik referata osmog jugoslavenskog simpozija o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji*, knj. 1., 507-532., Budva
- Ostojić, Đ. (1974.): Bilans podzemnih voda Omarskog polja, u: *Zbornik radova trećeg jugoslavenskog simpozija o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji*, knj. 1., 213-223., Opatija
- Papeš, J., Srdić, R. (1978.): Opći hidrogeološki odnosi na teritoriji Bosne i Hercegovine, *Krš Jugoslavije*, br. 10., 93-102., Zagreb
- Temimović, E. (2007.): *Hidrogeografske karakteristike poriječja Sane*, Doktorska disertacija, Geografski odsjek PMF-a, Zagreb, 321.
- Temimović, E. (2009.): *Rijeka Sana - potamološka studija*, Goldprint, Ključ, 220.
- Uzunović, O. (1958.): Jedna utvrđena podzemna bifurkacija voda u krškom rejonu Zapadne Bosne, *Geografski pregled*, br. 2., 37-42., Sarajevo.

## SAŽETAK

Poriječje Sane obuhvaća dijelove zapadne i sjeverozapadne Bosne i Hercegovine. Ukupna površina poriječja, ograničena površinskom razvodnicom, iznosi oko 3740 km<sup>2</sup>. Istraživano područje obilježava heterogenost litoškog sastava (česta izmjena vodonepropusnih i vodo-propusnih stijena), izrazita tektonska razlomljenost uz mjestimičnu pojavu krške hidrografije, što je utjecalo da se dubinska (hidrogeološka) razvodnica ne podudara s površinskom. Gornji i središnji dijelovi poriječja, zbog ispucale karbonatne podloge i brojnih rasjednih zona, imaju neutvrđenu razvodnicu tako da se ne može sa sigurnošću odrediti granica poriječja Sane prema susjednim poriječjima: Vrbasa na istoku, Plive na jugoistoku, Cetine na jugu (odnosno granica prema jadranskom slijevu koja oduvijek predstavlja problem za brojne istraživače ovog prostora), Unca na jugozapadu i Une na zapadu.

Prema hidrogeološkoj kategorizaciji stijenskih masa istraživano se područje može podijeliti na tri hidrogeološke jedinice. Prva, najveća i najznačajnija jedinica obuhvaća južne, jugozapadne, istočne i dijelove sjevernog poriječja, a to su tereni s vodonosnicima krško-pukotinske poroznosti. Propusnost i transmisivnost ovih terena vrlo su veliki zbog velike debljine stjenjaka. Najznačajnija vrela unutar poriječja upravo se nalaze na ovim terenima. Drugu jedinicu čine propusne stijene s intergranularnom, intergranularnom i/ili pukotinskom te pukotinskom poroznosti. Propusne stijene najboljih hidrogeoloških karakteristika s najznačajnijim akumulacijama podzemnih voda nalaze se u sjevernom dijelu poriječja, na terenima zavale Prijedorско-omarskog polja. U aluvijalnim i proluvijalnim naslagama navedenoga prostora podzemne su vode slobodnoga vodnog lica i subarteške, a u pliocenskim pjescima arteške i subarteške. Treću jedinicu čine tereni s nepropusnim stijenama. Infiltracija atmosferskih voda vrlo je spora, a ovi tereni se odlikuju vrlo gustom hidrografskom mrežom površinskih tokova. Ova jedinica uključuje terene Sansko-unskog paleozoika u sjevernim i središnjim dijelovima poriječja, te manji prostor između Ključa i Sanice.

## SUMMARY

The Sana River basin encompasses parts of western and northwestern Bosnia and Herzegovina. The total area of river basin, bounded by the surface watershed, is about 3740 km<sup>2</sup>. The investigated area is characterized by a heterogeneous lithological composition (frequent alternation of permeable and impermeable rock) distinct fault fragmentation of the terrain and occurrences of carbonate layers, which led to the fact that the underground (hydrogeological) watershed does not coincide with the surface watershed. The upper and central parts of the basin have undetermined hydrological watershed (due to cracked carbonate surface and numerous fault zones) so that it cannot reliably determine the boundary of the drainage of Sana basin and the adjacent basins: Vrbasa to the east, Pliva to the southeast, Cetina to the south (i.e. the divide of the Adriatic basin, which has always been a problem for researchers), Unac to the southwest and Una to the west.

In terms of hydrogeological regionalization of the rock mass, the studied area can be divided into three separate units. The first, largest and most important unit is situated in the southern, southwestern, eastern and northern parts of the basin. These are terrains with aquifers with karst-fractured porosity. The permeability and transmissivity of these terrains are very high due to the thickness of rock masses. The highest magnitude springs in the basin occur on these terrains. The second unit is represented by permeability rocks with intergranular, intergranular and/or fractured porosity. Permeable rocks with best hydrogeological characteristics and major groundwater reservoirs are located in the northern part of the basin, represented by the Prijedorско-Omarsko Polje. Groundwaters in alluvial and proluvial sediments are free and sub-artesian waters. Pliocene sediments are rich with artesian and sub-artesian waters. The third unit is represented with terrains with impermeable rock masses. Infiltration of atmospheric water is very slow. These terrains are characterized by a very dense hydrographic network of rivers and streams. This unit is made up of terrains of Sana-Una Palaeozoic in the northern and central parts of the basin, and a small area between Ključ and Sanica.

Dr.sc. **Muriz Spahić**, red. prof.

Dr.sc. **Emir Temimović**, docent

Mr.sc. **Haris Jahić**, viši asistent

Univerzitet u Sarajevu, PMF, Odsjek za geografiju, Zmaja od Bosne 33-35, Sarajevo, Bosna i Hercegovina

**Muriz Spahić**, PhD, professor

**Emir Temimović**, PhD, assistant professor

**Haris Jahić**, MSc, senior researcher

University of Sarajevo, Faculty of Science, Department of Geography, Zmaja od Bosne 33-35, Sarajevo, BIH