

Просторна анализа епикарста у оквиру карстног система источног дела Суве планине

Бранислав Петровић, Зоран Стевановић, Вељко Мариновић, Снежана Игњатовић



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Просторна анализа епикарста у оквиру карстног система источног дела Суве планине | Бранислав Петровић, Зоран Стевановић, Вељко Мариновић, Снежана Игњатовић | XVI српски симпозијум о хидрогеологији са међународним учешћем | 2022 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0006809>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на www.dr.rgf.bg.ac.rs

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: www.dr.rgf.bg.ac.rs

ПРОСТОРНА АНАЛИЗА ЕПИКАРСТА У ОКВИРУ КАРСТНОГ СИСТЕМА ИСТОЧНОГ ДЕЛА СУВЕ ПЛАНИНЕ SPATIAL ANALYSIS OF ЕPIKARST WITHIN KARST SYSTEM OF EASTERN PART OF SUVA PLANINA MOUNTAIN

Бранислав Петровић¹, Зоран Стевановић¹, Вељко Мариновић¹, Снежана Игњатовић²

¹ Центар за хидрогеологију карста, Департман за хидрогеологију, Рударско-геолошки факултет, Универзитет у Београду, Ђушина 7, 11000 Београд. E-mail: branislav.petrovic@rgf.bg.ac.rs

² Департман за геофизику, Рударско-геолошки факултет, Универзитет у Београду, Ђушина 7, 11000 Београд

Апстракт

Епикарст представља највиши део стенске масе који је изложен карстификацији, при чему су главне карактеристике епикарста акумулирање подземне воде и стварање услова за формирање концентрисаних токова у подини ове зоне. У досадашњој пракси истраживања епикарста углавном су коришћене индиректне методе: даљинска детекција, анализа хидрограма карстних врела, хидрохемијске и изотопске анализе, па чак и опити трасирања, док је са друге стране јако мали број истраживача изучавао епикарст директним теренским истраживањима. У раду је приказана иновирана методологија истраживања епикарста, која користи индиректне методе истраживања (даљинска детекција) у комбинацији са теренским истраживањима (геоморфолошка анализа и геоелектрична истраживања), указујући да се комбинацијом индиректних и директних истраживања добијају изузетно добри резултати. Наведена методологија је примењена на теренима Суве планине, при чему су теренска истраживања осим провере резултата добијених током ранијих истраживања помогла да се добију и нове информације за истражни простор. Прикупљени подаци на терену послужили су и за проверу израђене Карте потенцијала настанка епикарста и њено побољшање.

Кључне речи: епикарст, даљинска детекција, геоелектрична истраживања, Сува планина

Abstract

Epikarst represents the top, subsuperficial part of the rock mass that is exposed to karstification, where the main characteristics of epikarst are the accumulation of groundwater and the creation of conditions for concentrated flows downward of this zone. In the previous practice of epikarst research, indirect methods were mostly used: remote sensing, analysis of karst spring hydrographs, hydrochemical and isotopic analyses, and even tracing experiments, while on the other hand very few researchers studied epikarst by direct field survey. The paper presents an innovative epikarst research methodology, which uses indirect research methods (remote sensing), in combination with field research (geomorphological and geoelectric), indicating that a combination of indirect and direct research gives very good results for study area. The mentioned methodology was applied on the terrains of Suva Planina Mt., where the field survey, in addition to verifying the results obtained during previous indirect research, helped to obtain new information. The collected data in the field also served to test the Map of the potential for formation of the epikarst and its improvement.

Key words: epikarst, remote sensing, geoelectrical measurement, Suva planina Mt.

Увод

Појам епикарста од када се појавио (Mangin, 1973, 1975; Atkinson, 1977) изазива доста пажње, а понекад и супротстављене ставове истраживача. Резултати бројних студија у којима аутори разматрају постојање, утицај и функционисање епикарста налазе на опречна мишљења и чињеница је да се научна јавност још увек није у потпуности сложила око релевантности ове зоне у карстном систему. Епикарст представља највиши део стенске масе који је изложен карстификацији, тј. слој делимично измењене матичне стене који још увек није постао земљиште (Сл. 1), а у којем је водопропусност (услед испуцалости) и дифузна циркулација воде битно већа и равномерније распоређена у простору (вертикално и хоризонтално) у односу на остатак карстификоване стенске масе (Klimchouk, 2000). Контраст у вертикалном профилу у погледу ефективне порозности и пропусности између зоне епикарста и остатка карбонатне стенске масе је од изузетне важности за хидрогеолошку функцију ове приповршинске зоне (Петровић, 2020), односно могућност инфилтрације површинских вода је значајно лакша у односу на отицај из епикарстне у

„праву“ дубљу карстну издан. У већини карстних области и издани треба очекивати присуство зоне епикарста. Дебљина зоне епикарста може варирати у широком дијапазону, од 10 cm до 30 m (Klimchouk, 2000), а уобичајено се процењује од неколико метара па до 10-15 метара (Klimchouk, 2004). Главне карактеристике епикарста су акумулирање подземне воде и стварање услова за формирање концентрисаних токова у „подини“ овог, условно речено, слоја. Прва карактеристика повећава природну заштиту, док друга повећава рањивост подземних вода (Живановић, 2011).



Слика 1. Епикарст на Сувој планини (лево), положај епикарста у пресеку терена (десно): I-земљиште, II-епикарст, III-карстификовани кречњак

Figure 1. Epikarst on the Suva planina Mt. (left), position of epikarst in profile of terrain (right): I-soil, II-epikarst, III-karstified limestone

Постојање слоја/зоне – епикарст у оквиру већ комплексне карстне издани, почело је да се намеће истраживачима средином седамдесетих година прошлог века, када је уочено да хидрограми одређених карстних врела, али и њихов биланс указују на закашњење и каснију појаву инфилтрираних вода услед постојања слоја изнад слободног нивоа карстне издани, у ком је могућа акумулација одређених количина подземне воде, уз њено постепено испуштање у карстну издан (Mangin, 1973, 1975). Разлика између распадања других стена и карстификације кречњака је у основи оно што представља могућност за настанак епикарста (Петровић, 2020). Овај део карстне издани, који је углавном несатурисан или делимично сатурисан, се разликује од лебдећих издани које су нпр. формиране у интегрануларној средини. Разлика је у томе што се квантитативне особине лебдећих издани формираних у збијеној издани не разликују од особина основне издани, понекад вода има и исти квалитет, док издан формирана у епикарсту има другачије одлике од „праве“ карстне издани и у погледу начина филтрације воде и у погледу квалитета воде (Петровић, 2020).

Настанком епикарста у оквиру надизданске зоне карстног система у процесу карстификације и еволуцијом процеса уз развој свих пратећих елемената бавили су се: Klimchouk & Andrejchuk, 1996, Klimchouk et al, 1996; Hudson & Harrison, 1997; Price & Knill 2009; Price & de Freitas, 2009. Међутим, најзначајније закључке о еволуцији карстног процеса (самим тим и епикарста) донели су: Gunn (1985); Williams (1983, 1985), тј. Ford & Williams (2007); Klimchouk (1987, 1995, 2000, 2004). Формирана су и два концептуална модела која објашњавају настанак епикарста и његов утицај на еволуцију карстификације: 1) Модел који истиче утицај усмереног растварања кречњака у оквиру депресионих левака, на местима концентричне инфилтрације воде из епикарста у надизданску зону (Williams 1983, 1985), и 2) модел усмереног растварања уз проширење канала којима вода циркулише директно наниже, који формирају скривене дренаже (окна, шахте) у оквиру основе епикарста (Klimchouk 1987, 1995). Оба модела истичу значај хидролошких процеса у епикарсту и јединствене морфогенетске механизме ове зоне и резултат овог процеса у виду формирања рељефа којим доминирају вртаче. До одређених закључака о епикарсту као својеврсној полупропусној мембрани долази Bakalowicz (2003, 2005), док други сличну појаву задржавања и испуштања подземне воде називају „ефектом клипа“ (Trček, 2003; Trček & Krothe, 2004) или „пулсни притисак“ (Williams & Fowler, 2002; Коговшел, 2010), док су одређени истраживачи (Király et al, 1995; Király, 2003) успели да применом 3Д модела коначних елемената ову појаву додатно појасне упоређујући је са „Фарадејевим кавезом“.

На другој страни стоје истраживачи који посматрају епикарст само као зону у којој долази до девастирања карста (Šušterčič, 1999). Други су мишљења да је постојање епикарста могуће само у одређеним случајевима (Крешић, 2013), и да се не може о епикарсту говорити као о слоју који је увек присутан у оквиру система карстне издани. Крешић и Микшевски (Крешић & Mikszewski, 2013) тврде да се концепт епикарста често и насумице примењује, када год је zgodно искористити да се овим објасни понашање карстне издани и њено функционисање, без улажења у детаље. Стевановић (2015) иако прихвата да је постојање епикарста у горњим деловима зоне аерације често и да у њему долази до акумулирања одређене

количине подземне воде и формирање лебдеће издани, која касније утиче на одређено мешање, задржавање и преусмеравање новоинфилтрираних вода, истиче да се мора узети у обзир да на изузетно карстификованим теренима може доћи до брзог дренажа воде од падавина или понорница и да епикарст може изостати.

Истражно подручје обухвата сливове тј. зоне прихрањивања карстних врела Мокра и Дивљана, Горња Коритница и извора Бежиште, која се налазе у подножју источних падина Суве планине, од села Мокра до села Бежиште. Самим тим, граница ужег истражног простора се на истоку и североистоку поклапа са локалним ерозионим базисом: Мокрањском тј. Коритничком реком, јужну границу представља јужна граница вододелнице Коритничке реке и врела Бежиште, западну тј. југозападну границу чине вододелнице врела Мокра и Дивљана, извора Ракош чесма и Бежиште, а северну граница представља северна вододелница врела Мокра. Геолошка грађа Суве планине је комплексна и последица је вишеструких тектонских догађаја, који су довели до настанка антиклинале правца пружања северозапад-југоисток и каснијег издизања њеног северозападног дела (Петровић & Мариновић, 2021). Издизање антиклинале довело је до еродовања „покровних“ карбонатних седимената горњојурске и доњокредне старости и откривања језгра антиклинале које је изграђено од девонских и пермских кластичних седимената (Vujić et al, 1971). Карбонатни седименти, најчешће кречњаци различитог степена чистоће и доломити, изграђују крила антиклинале, чији пад слојева је ка североистоку и југозападу. На истражном подручју издвојени су сви типови издани, као и хидрогеолошки комплекс и условно безводни делови терена (Петровић, 2020). Тектонски склоп и чистоћа кречњака утицали су и на степен карстификације карбонатних стена доњотријаске, горњојурске и доњокредне старости, па се у оквиру њих могу издвојити карстно-пукотински и карстни тип издани (Петровић, 2020; Петровић & Мариновић, 2021).

Методологија

Геолошки структурни односи на ширем подручју истраживања узроковани су сложеним тектонским односима са бројним и разноврсним разломним и наборним структурним облицима, често великих димензија (Vujić et al, 1971). Примена даљинске детекције, сателитских снимака (Landsat 8) и анализе руптурног склопа терена преузетих са ОГК СФРЈ, лист Бела Паланка (Vujić et al, 1971) послужиле су у дефинисању присуства руптура, које у карстној издани усмеравају кретање подземних вода ка изворима и врелима, а затим и као припрема подлога за теренска истраживања епикарста. Извршена је интерпретација Ландсат 8 снимака израђеног комбинацијом канала 5, 6 и 7 (Won-In K. & Charusiri P., 2003; интернет веза 1), као и комбинацијом канала 7, 6 и 2 (интернет веза 1). Растери су у циљу поправке квалитета филтрирани (енгл. *image enhancement*). Побољшавање контраста „сирових“ снимака је извршено селективном линеарном трансформацијом оригиналних вредности пиксела. Колор-композитни снимци су омогућили лакше уочавање линеара и израду карте руптурног склопа, уз употребу функције конволуције (интернет веза 2) у филтрирању снимака. Такође, извршено је просторно филтрирање снимака поступком истицања линијских елемената (енгл. *edge enhancement*) у циљу побољшања уочљивости руптура. Даљинска детекција је такође, примењена и приликом анализе вегетације (интернет веза 3), одређивањем нормализованог индекса разлике вегетације - НИРВ (енгл. *Normalized Difference Vegetation Index – NDVI*), као и дефинисањем нормализованог индекса дефицита влаге-НИДВ (енгл. *Normalized Difference Moisture Index – NDMI*). Употребом НИДВ индекса извршена је карактеризација терена на 2 категорије: 1 – присуство вегетације у виду пашњака, ливада и ретког жбуња (тежински фактор 1); 2 – присуство жбунасте (средње високе) вегетације и шумске (високе) вегетације (тежински фактор 2). У оквиру истраживања епикарста обављена је и анализа геоморфолошких карактеристика терена (анализа топографије терена, анализа дигиталног елевационог модела – ДЕМ-а), затим је извршена анализа сателитских снимака (Landsat 8), обављена је анализа геолошког састава са аспекта подложности стена карстификацији и на крају је урађена анализа земљишта и вегетације као фактора који утичу на епикарст (Петровић, 2020). Извршене анализе су резултирале израдом 4 олеате: **С** – нагиб терена (енгл. *slope*), **Н** – олеата вегетације (НИДВ индекс), **З** – заштитна улога тла и **К** – степен развоја карстификације. Сумирањем ових олеата је креирана Карта потенцијала развоја епикарста Е према формули: $E=2\cdot H+3\cdot C+3\cdot K$. Финална карта има 4 категорије потенцијала развоја епикарста: 1 – низак, 2 – средњи, 3 – висок и 4 – изузетно висок.

Геоморфолошка истраживања су вршена у неколико етапа, а утврђено је постојање, број, распоред и величина крупнијих геоморфолошких објеката као што су вртаче, увале, јаме и пећине у оквиру истражног простора. Снимање координата појава и објеката на терену извршено је системом за глобално позиционирање (енгл. *Global Positioning System – GPS*), док су димензије објеката одређиване помоћу мерне траке и ласерског даљиномера (Leica Disto Lite 5). Паралелно са геоморфолошким истраживањима обављено је картирање епикарста. Картирање је обухватило дефинисање карактеристика епикарста, на отвореним изданима стена и усечима, одређивање дебљине, састава, области простирања, и припрему података за корелацију са подацима прикупљеним даљинском детекцијом и геоморфолошким истраживањима.

На делу истражног простора изведена су геоелектрична истраживања применом поступка вертикално електрично сондирање (ВЕС). Поступак ВЕС (један од најчешће коришћених у карсту - Bechtel et al, 2010) се примењује при испитивању хоризонталних или субхоризонталних слојева. Код поступка ВЕС прати се промена специфичне електричне отпорности (СЕО) са дубином, што се остварује тако што центар диспозитива остаје фиксиран, а удаљавају се спољне (струјне-АБ) електроде и на тај начин се повећава дубински захват. Као резултат примене овог поступка добија се дијаграм електричног сондирања, који се приказује помоћу би-логаритамске поделе где је привидна специфична електрична отпорност дата у функцији полурастојања струјних електрода - АБ/2 (Reynolds, 2011). На истражном терену примењен је

поступак ВЕС са симетричним електродним диспозитивом типа Шлумберже (фра. *Schlumberger*) где је растојање АБ/2 износило од 30 m до 100 m на три локације: Ракош чесма, Буковица и Мокра. Дубина истраживања је обично од 1/3 до 1/10 растојања електрода АБ. Осим приказа новодобијених резултата, урађено је поређење и анализа новодобијених резултата са резултатима геофизичких истраживања која су спроведена 2010. године на локацијама врела Дивљана и Мокра.

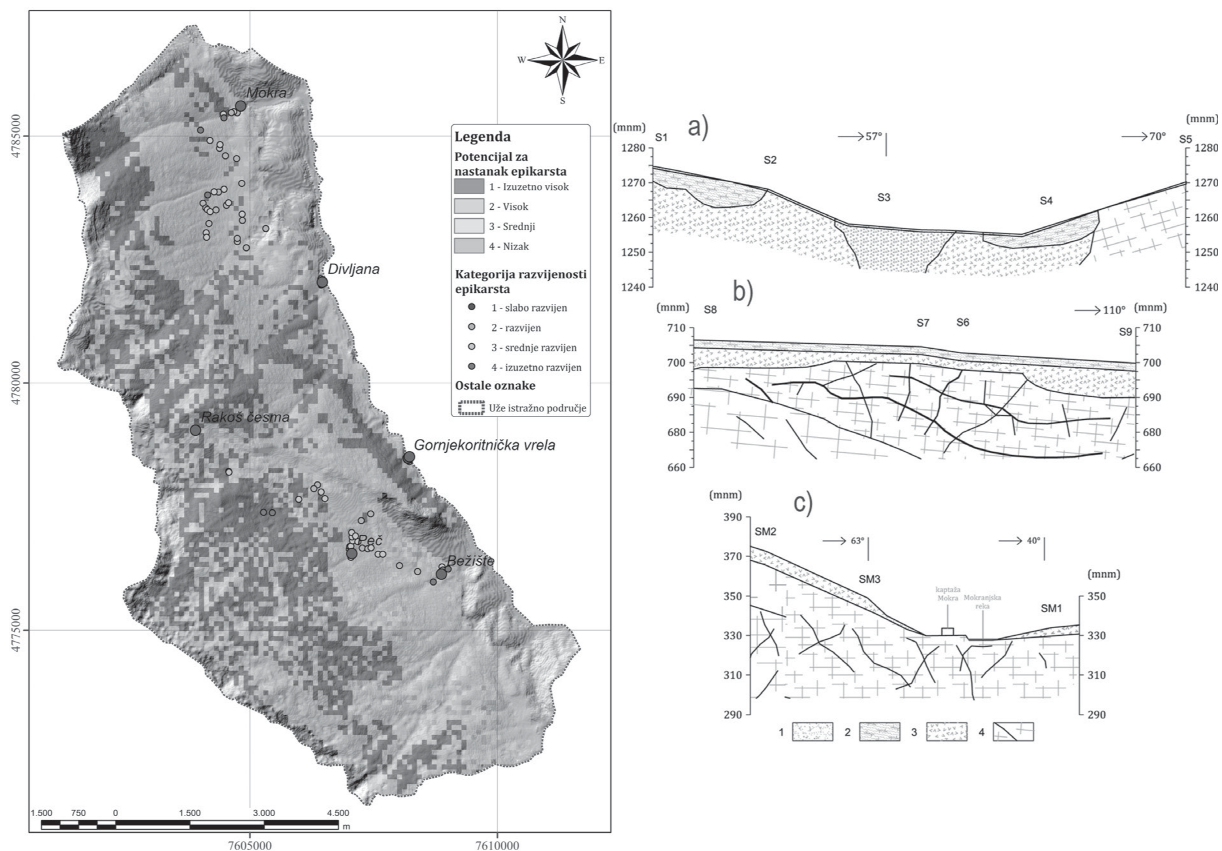
Резултати и дискусија

Даљинска детекција је искоришћена приликом анализе и издвајања линеамената на процесираним снимцима 567 и 762, као и приликом дефинисања индекса НИРВ и НИДВ, који заједно са Картом потенцијала настанка епикарста показују да постоје делови Суве планине који су окарактерисани као терени са потпуним одсуством вегетације, у случају огољених литица, које се јављају западно и северозападно у односу на уже подручје истраживања. Индекси указују на потенцијални појачани утицај шумске вегетације на процес настанка епикарста, радом кореновог система, задржавањем другог живог света у стељи насталој од опалог лишћа, повећавањем садржаја угљен-диоксида услед одвијања животних процеса и процеса распадања органске материје, као и других хемијских једињења која имају корозивни утицај на кречњак у подини. Карта потенцијала за настанак епикарста Е има 4 категорије (Слика 2, лево; 1 пиксел=100 m): 1 – изузетно висок, 2 – висок, 3 – средњи и 4 – низак. Површине различитих категорија потенцијала за развој епикарста су приказане бојама од зелене (низак потенцијал) до црвене (изузетно висок потенцијал). Површина терена која показује низак потенцијал за развој епикарста заузима само 1,5 % површине откривених карбонатних стена на истражном подручју, док средњи потенцијал за настанак епикарста има 11,5% терена. Висок потенцијал за настанак и развој епикарста има 53% површине изложених кречњака, а изузетно висок 34%. Карта добијена на овај начин не може бити искоришћена самостално за дефинисање степена стварног развоја епикарста, без спроведених теренских истраживања.

Геоморфолошка истраживања су потврдила да је процес карстификације развијен, иако је цела источна падина добро покривена шумском вегетацијом, која је онемогућавала бољу покривеност теренским истраживањима, али и примену других метода истраживања. Геоморфолошким истраживањима „откривена“ су два подземна облика на источним падинама Суве планине: јама Просек и пећина Печ (Петровић, 2020).

Поступак вертикалног електричног сондирања је обављен на 3 локације, које су одабране тако да се истраже различите литолошке јединице: локација Ракош – титонски банковити кречњаци, локација Буковица – валенд-отривски фосилоносни, хетерогени песковити и лапоровити кречњаци, и локација Мокра – ургонски спрудни кречњаци. На локалитету Ракош чесма растојање између електрода износило је АБ/2 = 30 m чиме је остварен максимални дубински захват од 10 m. Растојање између електрода на локалитету Мокра је било АБ/2=40 m и АБ/2=50 m, док је на локалитету Буковица растојање између електрода износило АБ/2=30 m на три локалитета где је рађен ВЕС, док је једна сонда измерена са растојањем између електрода АБ/2=110 m. Раније изведена истраживања (2010. године) на локацијама Мокра и Дивљана обављена су са већим дубинским захватом (АБ/2=200-350 метара). Интерпретација резултата примењеног ВЕС указује на постојање слоја, који се састоји од распаднутог и измењеног кречњачког стенског материјала (брече и дробине) и земљишта, који у овом случају представља епикарст. Резултати ВЕС (Слика 2, десно) су показала постојање слоја епикарста чија дебљина зависи од литолошког састава стена, тектонике и локације изведених мерења (нагиба и изложености терена атмосферилијама). Дебљина епикарста опада са опадањем квалитета (чистоће) карбонатних стена, повећањем нагиба и повећањем удаљења од раседних зона. Дебљина епикарста, која је дефинисана након примене ВЕС је на локацијама Ракош од 3-15 метара и Буковица 1,5-9 метара, а на локацијама Мокра, тј. Дивљана 0,5 до 4 метра. Локално поклапање вредности Карте потенцијалности, категорија 3 и 4 са вредностима добијеним помоћу ВЕС је веома добро.

Теренским истраживањем (картирање) епикарста прикупљени су подаци, који су послужили за поређење са Картом потенцијала за настанак епикарста на истражном терену. Картирањем епикарста на отвореним изданцима и усецима, када је подробније извршено одређивање дебљине епикарста, састава и области простирања, омогућило је додатну проверу успешности примењених метода даљинске детекције за израду Карте потенцијала развоја епикарста. На источним падинама Суве планине, за потребе теренског дефинисања степена карстификације и еволуције епикарста издвојене су 4 категорије епикарста: 1-слабо развијен епикарст, 2-развијен епикарст, 3-средње развијен епикарст и 4-изузетно развијен епикарст (Слика 2, лево; кружићи различитих боја). Категорије епикарста одређене су на реперним профилима у оквиру ужег истражног простора, међутим, није било могуће обавити картирање на свим деловима терена пре свега услед неприступачности одређених падина између Бежишта и Дивљане. На Карти потенцијала, категорије које су издвојене методама даљинске детекције поклапају се са теренским истраживањима у мањем броју од очекиваног. Највећи проценат поклапања је између категорије 2 висок потенцијал за настанак епикарста (Карта потенцијалности) и категорије 3 средње развијен епикарст (резултат теренских мерења).



Слика 2. Категорије епикарста на Карти потенцијала за настајак епикарста (лево); Епикарст дефинисан применом поступка ВЕС на локацијама а) Ракош, б) Буковица и ц) Мокра (десно): 1- земљиште, 2-делувијум са глиним везивом (епикарст), 3-кречњачка бреча (епикарст), 4- карстификовани кречњак.

Figure 2. Categories of epikarst on the Map of potential for epikarst development (left); Epikarst defined by VES, on location (right): a) Rakoš, b) Bukovica and c) Mokra: 1-soil, 2-deluvium with clay (epikarst), 3-breccia (epikarst), 4-karstified limestone

Закључак

Резултати примене иновативне методологије на (карстним) теренима источног дела Суве планине, која је обухватила индиректна и директна истраживања, омогућили су да се изврши просторна анализа епикарста. Даљинска детекција у комбинацији са теренским истраживањима (геоморфолошка, геофизичка) резултирала је дефинисањем просторног распореда епикарста, као и основних одлика епикарста и функције у карстној издани.

Карта потенцијала за настајак епикарста, израђена уз помоћ даљинске детекције, имала је нешто нижу резолуцију (1 пиксел = 100 m) него што је за овакав ниво истраживања потребно. Да би се допринело бољем дефинисању граница литостратиграфских јединица потребно је да се при изради Карте потенцијала користе карте које имају већу резолуцију (крупнију размеру од 1:25.000 које су у овом случају коришћене) или да се изврши детаљно геолошко картирање терена, пошто се локално степен развоја епикарста може променити на растојањима мањим од 50 метара. Директним (геоморфолошка и геофизичка) истраживањима постиже се много боља локална истраженост, па се самим тим и прецизност Карте потенцијала за настајак епикарста добијене на овај начин може повећати, што ће бити следећи корак ка побољшању методологије. Након корекције методологије за израду Карте потенцијала за настајак епикарста уследиће примена нове методологије на другим карстним теренима Карпато-балканида Србије.

Литература

- Atkinson T.C., 1977: Carbon dioxide in the atmosphere of the unsaturated zone: An important control of groundwater hardness in limestones, *Journal of Hydrology*, Vol. 35, Issue 1, pp. 111-123
- Bechtel T.D., Bosch F.P., Gurk M., 2010: Geophysical methods, in: *Methods in Karst Hydrogeology*, (eds. Goldscheider N. & Drew D.), IAH, vol 26. Taylor & Francis/Balkema, London, pp. 171-200
- Ford D.C. & Williams P.W., 2007: *Karst Hydrogeology and Geomorphology*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, p. 562

- Gunn J., 1985: A conceptual model for conduit flow dominated karst aquifers, in Karst Water Resources (eds. Gultekin Gunay, A. Ivan Johnson; Proceedings of the Ankara - Antalya Symposium, July 1985), IAHS Publ. no. 161, pp. 587-596
- Hudson J.A. & Harrison J.P., 1997: Engineering rock mechanics: an introduction to the principles, Pergamon, Tarrytown, NY, p. 444
- Kiraly L., 2003: Karstification and Groundwater Flow, Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers, Vol 1, Issue 3, pp. (Republished from Gabrovšek, F. (Ed.). 2002. Evolution of karst: from prekarst to cessation. Postojna-Ljubljana, Založba ZRC, 155-190.)
- Kiraly L., Perrochet P., Rossier Y., 1995: Effect of the epikarst on the hydrograph of karst springs: a numerical approach, Bulletin du Centre d'Hydrogéologie, vol. 14, pp. 199-220
- Klimchouk A.B., 1987: Conditions and peculiarities of karstification in the shallow subsurface zone of carbonaceous massifs, Caves of Georgia, v. 11, (In Russian, res. Engl.), pp. 54-65.
- Klimchouk A.B., 1995: Karst Morphogenesis in the epikarstic zone, Cave and Karst Science, Vol. 21, No. 2, Transactions of the British Cave Research Association, pp. 45-50
- Klimchouk A.B., 2000: The formation of epikarst and its role in vadose speleogenesis, In: Speleogenesis: Evolution of karst aquifers (Eds. Klimchouk A.B., Ford D.C., Palmer A.N. and Dreybrodt W.), National Speleological Society of America, pp. 261-273, Huntsville, AL-USA
- Klimchouk A.B., 2004: Towards defining, delimiting and classifying epikarst: Its origin, processes and variants of geomorphic evolution, Speleogenesis and evolution of karst aquifers, The Virtual Scientific Journal, pp. 1-13
- Klimchouk A.B. & Andrejchuk V.N. 1996: Breakdown development in cover beds, and landscape features induced by intrastratal gypsum karst. In: Gypsum Karst of the World (Klimchouk A.B., Lowe D., Cooper A., and Sauro U. (eds.)), International Journal of Speleology Theme issue 25 (3-4), pp. 127-144
- Klimchouk A.B., Ford D.C., Palmer A.N., Dreybrodt W. (eds), 1996: Speleogenesis; Evolution of Karst Aquifers, National Speleological Society Press, Huntsville, AL, 527 pp.
- Mangin A., 1973: Sur la dynamique des transferts en aquifère karstique, Proceedings of the 6th International Congress of Speleology, Olomouc, CSSR, Vol. 6, 157-62
- Mangin A., 1975: Contribution a l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques, 3eme partie, Constitution et fonctionnement des aquifères karstiques. Ann Spéléol 30(1):21-124
- Petrović B., 2020: Funkcionisanje i uticaj epikarsta na režim, bilans i kvalitet podzemnih voda istočnog dela karstnog sistema Suve planine, Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu
- Петровић Б., Мариновић В., 2021: Примена дискретног ауторегресивно – кросрегресивног модела покретног просека за прогнозу дневних вредности издашности врела Мокра и Дивљана, Записници Српског Геолошког Друштва, Српско геолошко друштво, Београд, ISSN: 0372-9966, pp. 1-14
- Price D.G. & Knill J., 2009: Ground Response to Engineering and Natural Processes, in: Engineering Geology - Principles and Practice (ed. de Freitas M. H.), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 229-246
- Price D.G. & de Freitas M. H., 2009: Withdrawal of Support by Surface Excavations, in: Engineering Geology - Principles and Practice (ed. de Freitas M. H.), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 247-294
- Reynolds J.M., 2011: An Introduction to Applied and Environmental Geophysics, 2nd Edition, Wiley-Blackwell, p. 712
- Stevanović Z., 2015: Karst Aquifer – Characterization and Engineering (Stevanović Z. (ed.)), Springer
- Šušterčič F., 1999: Vertical zonation of the speleogenetic space, Acta Carsologica 28/2, Ljubljana, pp. 187-201
- Trček, B., 2003: Epikarst zone and karst aquifer behaviour – A case study of the Hubelj catchment, Slovenia, Geološki zavod Slovenije, Ljubljana, p. 100
- Trček B. & Krothe N., 2004: Oxygen isotope studies of major karst springs on the Mitchell plain (USA) and the Trnovski Gozd karst plateau (Slovenia), in: Epikarst (Jones, W., Culver, D. & J. Herman Eds.), Karst Waters Institute Special Publication 9, pp. 92-98, Charles Town
- Živanović V., 2011: Ocena ranjivosti podzemnih voda od zagađenja na primerima karsta Srbije, Magistraska teza, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, p. 215
- Vujisić T., Navala M., Kalenić M., Hadži-Vuković M., Anđelković J., Krstić B., Rakić B., i saradnici 1971: OGK SFR Jugoslavije, list Bela Palanka K 34-33 tumač i karta, R=1:100.000, Savezni geološki zavod, Beograd, p. 69
- Williams P.W., 1983: The role of the subcutaneous zone in karst hydrology, Journal of Hydrology, 61, pp. 45-67
- Williams P.W., 1985: Subcutaneous hydrology and the development of doline and cockpit karst. Zeitschrift für Geomorphologie, 29(4), pp. 463-482
- Williams P.W., Fowler A., 2002: Relationship between oxygen isotopes in rainfall, cave percolation waters and speleothem calcite at Waitomo, New Zealand, Journal of hydrology, New Zealand Hydrological Society, vol. 41, No 1, Christchurch, New Zealand, pp. 53-70
- Won-In K. & Charusiri P. 2003: Enhancement of thematic mapper satellite images for geological mapping of the Cho Dien area, Northern Vietnam, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Volume 4, Number 3, pp. 183-193
- Инт. веза 1: <https://gisgeography.com/landsat-8-bands-combinations>
- Инт. веза 2: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/raster-and-images/convolution-function.htm>
- Инт. веза 3: <https://www.agricolus.com/en/vegetation-indices-ndvi-ndmi>