

Дефинисање хидрауличког механизма истицања карстних подземних вода применом биваријантне анализе временских серија

Вељко Мариновић



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Дефинисање хидрауличког механизма истицања карстних подземних вода применом биваријантне анализе временских серија | Вељко Мариновић | Мултидисциплинарна конференција "Карст 2022 - Значај, стање и перспективе коришћења и заштите ресурса у карсту" | 2022 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0006838>

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



**Importance, State of the Art, and Prospective of
Utilisation and Protection of Resources in Karst
Belgrade, 2022**



DEFINING THE HYDRAULIC MECHANISM OF KARST GROUNDWATER DISCHARGE USING BIVARIATE TIME SERIES ANALYSIS

ДЕФИНИСАЊЕ ХИДРАУЛИЧКОГ МЕХАНИЗМА ИСТИЦАЊА КАРСТНИХ ПОДЗЕМНИХ ВОДА ПРИМЕНОМ БИВАРИЈАНТНЕ АНАЛИЗЕ ВРЕМЕНСКИХ СЕРИЈА

Вељко Мариновић¹

¹ Центар за хидрогеологију карста, Департман за хидрогеологију Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, Ђушина 7, Србија; veljko.marinovic@rgf.bg.ac.rs

Extract of the manuscript: Bivariate analysis was applied within the cross-correlation in time and the gain function as part of the cross-spectral function in the frequency domain, to the time series of precipitation and discharge of the Oko Bijele (Montenegro) and Vrelo Bosne (Bosnia and Herzegovina) karst springs in the period 2015-2020. Bivariate analysis showed a very fast reaction of the Oko Bijela spring and a reaction delay at the Bosna spring, which indicate a very weak amortization of the input signal within the Oko Bijela system and a good attenuation of the precipitation of the Bosna system, which proved the hydraulic mechanism of the discharge of both springs - gravitationally at Oko Bijela and siphonally at Vrelo Bosne spring. Also, low storage capacity of the Oko Bijela karst system was confirmed, while the Bosna karst system has significant storage capacity of groundwater reserves.

Key words: karst, groundwater, discharge mechanism, cross correlation, spectral analysis

Кључне речи: карст, подземне воде, механизам истицања, крос-корелација, спектрална анализа

Увод

Познавање хидрауличког механизма истицања карстних подземних вода може прелиминарно указати на акумулативност карстног хидрогеолошког система, односно на његове ретенционе способности. Другим речима, у зависности од тога да ли је реч о гравитационом врелу са брзом пропагацијом вода од зоне прихрањивања до зоне истицања или је реч о узлазном врелу са дубоком сифоналном циркулацијом, могу се очекивати различити сценарији по питању резерви подземних вода. Стога, анализа временских серија истицања подземних вода у довољно дугом периоду осматрања може дати врло корисне информације о способности карстног система да задржи и акумулира подземну воду у виду резерви, које се могу искористити у различите сврхе. То је посебно важно имајући у виду висок проценат експлоатације карстних подземних вода у Србији, Црној Гори и Босни и Херцеговини за водоснабдевање становништва пијаћом водом.



Importance, State of the Art, and Prospective of Utilisation and Protection of Resources in Karst Belgrade, 2022



Опште карактеристике истражних подручја

Биваријантна анализа временских серија истицања подземних вода примењена је на примерима врела Око Бијеле у Црној Гори и врело Босне у Федерацији БиХ. Ова два карстна система одабрана су као репрезенти гравитационог (Око Бијеле) и узлазног (врело Босне) механизма истицања, како би разлика у њиховој акумулативности била лакше уочљива. Карстни систем врела Око Бијеле налази се у селу Горња Бијела у централном делу Црне Горе, у близини Шавника и према хидрогеолошкој рејонизацији припада Динаридима Црне Горе и црноморском сливу. Клима слива врела Око Бијеле садржи континентални и планински тип са просечном годишњом сумом кише од 1559,3 mm, температуром ваздуха од 6,27°C и значајним снежним покривачем који може износити и преко 150 cm (МС Жабљак, период 2015-2020). Врело Око Бијеле истиче из сенонских кречњака, на контакту са флишном сенонском серијом. Зајезерени изглед врела на први поглед указује на постојање сифонског канала и узлазну циркулацију. Карстни систем врела Босне налази се у централном делу Босне и Херцеговине код Сарајева, у подножју планина Игман и Бјелашница. Сливно подручје врела Босне одликује се умереним типом климата, зависном од планинских врхова Игмана и Бјелашнице и близине Јадранског мора са просечном годишњом сумом кише од 1192,3 mm, температуром ваздуха од 2,4°C и кумулативним снегом који може бити висине преко 300 cm и који је актуелан од септембра до јуна (МС Бјелашница, период 2015-2020). Врело Босне истиче у виду разбијеног изворишта, на најнижој хипсометријској тачки контакта планине Игман (кречњаци и доломити горњег тријаса) и Сарајевског поља. Узлазни карактер врела предиспониран је спуштањем северозападног крила синклинале Игмана.

Примењена методологија

Биваријантна анализа временских серија подразумева анализу улазних и излазних елемената карстних система и дефинисање њихове узрочно-последичне везе. Биваријантна анализа је примењена на временске серије падавина са станица Жабљак и Бјелашница и истицања на врелима Око Бијеле и врела Босне у периоду 2015-2020. година, према подацима Федералног хидрометеоролошког завода из Сарајева и Завода за хидрометеорологију и сеизмологију Црне Горе. У склопу ове анализе, крос-корелациона функција у временском и крос-спектрална функција у фреквентном домену су примењене на низове временских серија падавина у виду кише, као улазног параметра и истицања подземних вода врела Око Бијеле и врела Босне, као излазног параметра. Крос-корелациона функција подразумева одређивање међусобне зависности две дискретизоване променљиве од којих је једна зависна (истицање подземних вода), а друга независна променљива (падавине), тј. разматрање утицаја падавина (улазног сигнала у систем) и истицања подземних вода на врелу (излазног сигнала из система) и дефинисања времена потребног за реакцију система на прихрањивање (Krešić, 1991; Larocque, 1998; Jemcov, 2008; Ristić



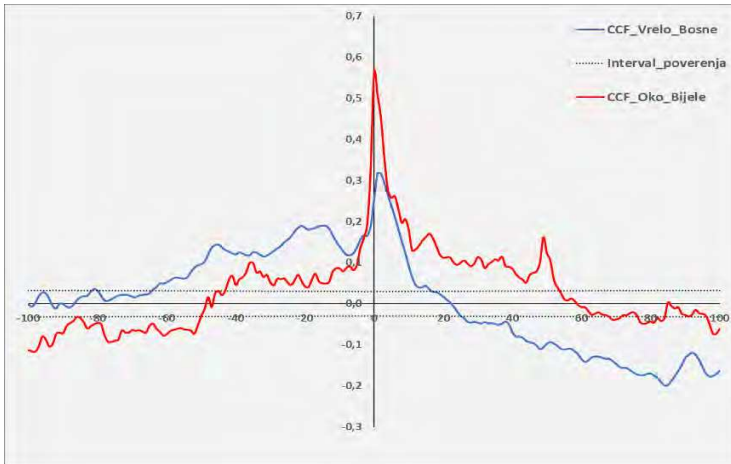
Importance, State of the Art, and Prospective of Utilisation and Protection of Resources in Karst Belgrade, 2022



Vakanjac, 2015). Период потребан за реакцију врела на прихрањивање (кашњење реакције) указује на брзину трансфера подземних вода у систему - мање кашњење сигнала имплицира промтну реакцију на улазни сигнал, где се индиректно систем може тумачити као јако развијен и карстификован, док је веће кашњење сигнала последица највероватније слабије развијеног система са ниским степеном карстификације или дубоке сифоналне циркулације. Крос-спектрална функција густине укључује конвертовање крос-корелационе функције из временског у фреквентни домен помоћу Фуријеових трансформационих редова, која, такође поред излазног сигнала (истицања) укључује и улазни сигнал (падавине) (Padilla & Pulido-Bosh, 1995; Jemcov, 2008). На основу ове функције може се дефинисати кашњење и трајање одзива система на улазни сигнал у фреквентном домену, а обично укључује крос-амплитудну, кохерентну, функцију фазе и функцију раста. Функција раста указује на повећање или смањење излазног у односу на улазни сигнал, што се са аспекта квантитативне карактеризације система може тумачити као промена динамичких резерви у времену, односно на могућност атенуације и амортизације падавина и њихову трансформацију у резерве подземних вода, на основу чега се може дати процена акумулативности система (Padilla & Pulido-Bosh, 1995; Larocque et al. 1998; Jemcov, 2008).

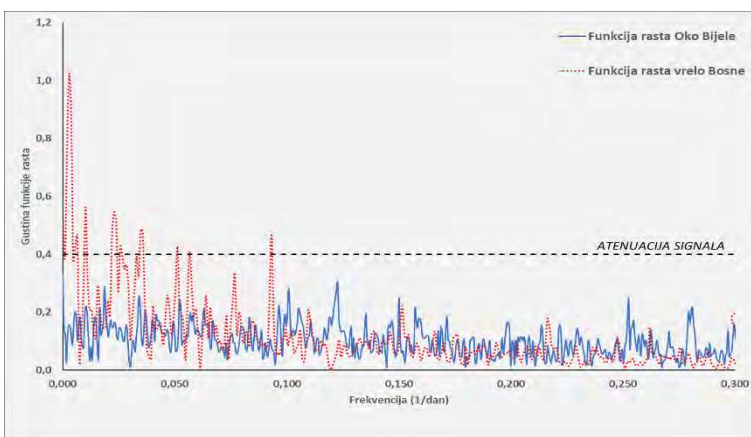
Резултати и дискусија

Крос-корелограм кишних падавина и истицања на врелу Око Бијеле показује центрираност крос-корелационе функције за цео период осматрања, што указује на генерално инстантну реакцију система на улазни импулс, тј. са временским кораком од 0 дана (Сл. 1). То наводи на претпоставку да се ради о релативно малом резервоару карстног система, тако да се новоинфилтрирана вода веома брзо транспортује до места истицања, с обзиром на мале резерве подземних вода у том периоду. Крос-корелограм кишних падавина са истицањем врела Босне за период 2015-2020 година, има позитивну асиметрију, указујући на период закашњења реакције система на улазни сигнал од једног дана (Сл. 1). Кашњење реакције система од једног дана може указивати на попуњеност резерви и период неопходан за повећање хидростатичког притиска у систему који ће узроковати повећање издашности на врелу услед дубоке сифоналне циркулације. Уколико се усвоји праг значајности од 0.2 (Mangin, 1984; Ristić Vakanjac, 2015), статистичка значајност коефицијента корелације за врело Око Бијеле престаје након 10 дана, а за врело Босне након 7 дана, што показује на време реакције сливног подручја на интензивну кишну епизоду. Такође, нагиб крос-корелограма врела Босне је веома стрм првих 12 дана, док после тога долази до амортизације улазног сигнала у виду попуњавања резерви у систему.



Сл. 1. Крос-корелограми падавина и истицања врела Босне и Ока Бијеле за период 2015-2020

Функција раста на основу вредности падавина и истицања врела Око Бијеле (Сл. 2) показује да су све вредности мање од 1, односно 0.4, што би теоретски указивало на потпуну атенуацију система. Међутим, функција раста јасно показује да је реч о потпуно несортираном и нефилтрираном сигналу, што указује на то да карстни систем врела Око Бијеле има веома ниску могућност атенуације улазног импулса, тј. да се инфилтриране падавине веома брзо транспортују до врела указујући на претпоставке о релативно малом резервоару подземних вода. Функција раста истицања подземних вода врела Босне (Сл. 2) показује пик изнад вредности 1 при фреквенцији од 0.002737, што одговара годишњем циклусу, указујући на доминацију базног отицаја и високу акумулативну моћ система. Јасно се уочава и сортираност и филтрирање сигнала, наводећи на закључак о потпуној атенуацији и амортизацији инфилтрираних падавина и њихову трансформацију у резерве подземних вода овог система.



Сл. 2. Функције раста истицања врела Око Бијеле и врела Босне за период 2015-2020. год.



Importance, State of the Art, and Prospective of Utilisation and Protection of Resources in Karst Belgrade, 2022



Закључак

Применом биваријантне анализе у виду крос-корелационе функције у временском и фазне функције у оквиру крос-спектралне функције у фреквентном домену могуће је анализирати хидрауличке механизме истицања карстних подземних вода и дефинисати акумулативну способност карстних система. Период кашњења реакције врела на кишну епизоду која изазива прихрањивање система може указати на интерну структуру и развијеност система. Реакција врела Око Бијеле на интензивну кишу мери се у часовима, што указује на веома брз трансфер вода од зоне прихрањивања до зоне истицања. На тај начин, могуће је закључити да се ради о гравитационом врелу, са доминантним доводним каналом којим се воде брзо транспортују до врела. Са друге стране, реакција врела Босне касни 1 дан, што указује на већу ретенциону моћ овог система. Функција раста врела Око Бијеле показује да овај систем нема способност пригушивања улазног сигнала, што указује на то да се ефективно инфилтриране воде брзо појављују на врелу и да је акумулација резерви врло вероватно мала. То међутим није случај код врела Босне, где се јасно види амортизација падавина и њихова трансформација у резерве и истицање подземних вода, на основу чега се може закључити да се ради о узлазном врелу са дубоком сифоналном циркулацијом и могућношћу акумулације великих количина подземних вода у систему.

Литература

- Jemcov I, 2008: Bilans karstnih izdanskih voda i optimizacija rešenja njihovog zahvata na primerima iz Srbije, doktorska disertacije, RGF, UoB, p. 377
- Krešić N, 1991: Kvantitativna hidrogeologija karsta sa elementima zaštite. Naučna knjiga, p. 179
- Larocque M., Mangin A., Razack M., Banton O, 1998: Contribution of correlation and spectral analyses to the regional study of a large karst aquifer (Charente, France). J. Hydrol. 205. 217-231
- Mangin A, 1984: Pour une meilleure connaissance des systèmes hydrologiques à partir des analyses corrélatoire et spectrale. J. Hydrol., 67 pp. 25-43
- Padilla, A, Pulido-Bosh A. 1995: Study hydrographs of karstic aquifers by means of correlation and cross-spectral analysis. J Hydrol. 168. Elsevier Sci. pp.73-89
- Ristić Vakanjac V, 2015: Forecasting Long-Term Spring Discharge; In: Stevanović Z. (ed.) Karst Aquifers-Characterization and Engineering. Prof. Practice in Earth Sciences, Springer, pp. 435-455, Cham. 10.1007/978-3-319-12850-4_15