

# Application of the autoregressive model, grey model and biplot method to groundwater sources

Jelena Ratković, Dušan Polomčić, Zoran Gligorić, Dragoljub Bajić



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Application of the autoregressive model, grey model and biplot method to groundwater sources | Jelena Ratković, Dušan Polomčić, Zoran Gligorić, Dragoljub Bajić | Proceedings of the XVIII Serbian Geological Congress, Divčibare, Serbia, 01-04 June 2022 | 2022 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0007194>

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](http://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](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)

**Srpsko geološko društvo**

**Zbornik apstrakata  
XVIII Kongres geologa Srbije**



**18 КОНГРЕС  
ГЕОЛОГА СРБИЈЕ**

**Book of abstracts  
of the XVIII Serbian Geological Congress**

**GEOLOGIJA REŠAVA PROBLEME  
GEOLOGY SOLVES THE PROBLEMS**

**Divčibare, 01-04. jun 2022.**

# **XVIII Kongres geologa Srbije: Zbornik apstrakata**

(Nacionalni kongres sa međunarodnim učešćem)

# **XVIII Serbian Geological Congress: Book of abstracts**

(National Congress with International Participation)

**Divčibare, 01-04.06.2022.**

## **Organizator / Organised by**

Srpsko geološko društvo / Serbian Geological Society

## **Suorganizator / Co-organised by**

Univerzitet u Beogradu – Rudarsko-geološki fakultet /  
University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology

## **Za izdavača / For the Publisher**

Vladimir Simić

Predsednik Srpskog geološkog društva / President of the Serbian Geological Society

## **Glavni urednik / Editor-in-chief**

Bojan Kostić

## **Uređivački odbor / Editorial Board**

Danica Srećković-Batočanin, Nevenka Đerić, Dragoljub Bajić

## **Tehnička priprema / Technical Preparation**

Bojan Kostić, Zoran Miladinović, Ana Zeković, Marija Petrović

## **Izdavač / Publisher**

Srpsko geološko društvo / Serbian Geological Society

Kamenička 6, P.Box 227, 11001, Belgrade, Serbia

<http://www.sgd.rs>; e-mail: [office@sgd.rs](mailto:office@sgd.rs)

**ISBN-978-86-86053-23-7**

**Napomena:** *Autori su odgovorni za sadržaj i kvalitet svojih saopštenja*

**Note:** *The authors are responsible for the content and quality of their contributions*

## **Organizacioni odbor / Organizing Committee**

Vladimir Simić (predsednik), Danica Srećković-Batočanin (potpredsednik), Dragoljub Bajić (sekretar), Zoran Miladinović (sekretar), Nevenka Đerić, Nenad Marić, Predrag Cvijić, Danijela Božić, Sonja Đokanović, Bojan Kostić, Nikoleta Aleksić, Stefan Petrović, Nemanja Krstekanić, Maja Maleš, Marija Vuletić, Natalija Batočanin

## **Naučni odbor / Scientific Committee**

Vladimir Simić, Danica Srećković Batočanin, Nevenka Đerić, Dragana Životić, Rade Jelenković, Aleksandar Kostić, Uroš Đurić, Miloš Marjanović, Alena Zdravković, Suzana Erić, Meri Ganić, Uroš Stojadinović, Katarina Bogičević, Dejan Prelević, Jana Štrbački, Vesna Ristić-Vakanjac, Dušan Polomčić, Vesna Cvetkov, Nevena Andrić-Tomašević, Spomenko Mihajlović, Aleksandra Maran-Stevanović, Darko Spahić, Slobodan Radusinović, Lidija Galović, Kristina Šarić, Vesna Matović

## **Volonteri studenti / Students volunteers**

Marija Petrović, Filip Arnaut

## **Sponzori / Sponsors**

Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja  
Univerzitet u Beogradu – Rudarsko-geološki fakultet  
"Jelen Do" Lime & Aggregates - Carmeuse Group  
Rudarski institut d.o.o. Beograd  
IBIS-INŽENJERING d.o.o. Banja Luka  
Georing Group  
GeoProspect d.o.o.  
VODAVODA  
Knjaz Miloš  
Kompanija Simex

## PLENARNA PREDAVANJA / PLENARY LECTURES

**Zoran Stevanović**, Podzemne vode – ključni resurs budućnosti i najbolji indikator stanja životne sredine.

**Zoran Stevanović**, Groundwater – Key Resource for the Future and Best Indicator of Environmental Status

**Oleg Mandić**, Stratigrafija i paleogeografija neogena južnog Panonskog bazena.

**Oleg Mandić**, Neogene stratigraphy and paleogeography of the southern Pannonian basin.

**Ivan Dulić**, M. Dunčić, G. Bogićević, V. Gajić, S. Teslić, P. Cvijić, J. Sovilj, S. Marjanović, R. Ahmetzjanov, Regionalni naftno-geološki projekti na prostoru Panonskog basena, Dinarida i Karpatobalkanida.

**Ivan Dulić**, M. Dunčić, G. Bogićević, V. Gajić, S. Teslić, P. Cvijić, J. Sovilj, S. Marjanović, R. Ahmetzjanov, Regional oil and geological projects in the Pannonian Basin, Dinarides and Carpathian Balkan.

## PREDAVANJA PO POZIVU / INVITED LECTURES

**Nevena Andrić-Tomašević**, Dinamika litosfere duž severoistočnog oboda Adrije zabeležena u sedimentnim basenima i magmatskim produktima

**Nevena Andrić-Tomašević**, Quantifying lithospheric dynamics along the north-eastern margin of Adria using magmatic and sedimentary signals

**Dragoljub Bajić**, Rešavanje problema odvodnjavanja primenom „fuzzy MCDM“ metoda pri inženjersko-geološkim istraživanjima

**Dragoljub Bajić**, Solving dewatering problems using fuzzy MCDM Methods for Engineering-geological Surveys

**Katarina Bradić Milinović**, Otoliti *in situ* sa teritorije Srbije (stratigrafski, paleoekološki i paleogeografski značaj)

**Katarina Bradić Milinović**, Otoliths *in situ* from Serbia (stratigraphic, paleoecological and paleogeographical significance)

**Miloš Velojić**, Geologija hidrotermalnog Cu-Au sistema Čukaru Peki

**Miloš Velojić**, Geology of the Čukaru Peki hydrothermal *Cu-Au* system

**Violeta Gajić**, Sedimentologija gornje krede jednog dela Unutrašnjih Dinarida (zapadna Srbija)

**Violeta Gajić**, Sedimentology of the Upper Cretaceous within a part of the Internal Dinarides (West Serbia)

**Dragana Đurić**, Primena SAR interferometrije za određivanje koseizmičkih deformacija: trendovi i dostignuća

**Dragana Đurić**, SAR interferometry for coseismic displacement determination: trends and achievements

**Miloš Marjanović**, Analiza odrona u stenskim kosinama: savremeni pristupi

**Miloš Marjanović**, Rockfalls analysis in rock slopes: state-of-the-art approaches

**Aleksandar Pačevski**, Nov pristup proučavanju tekstura minerala značajnih za istraživanje rudnih ležišta

**Aleksandar Pačevski**, New approaches to the study of mineral textures significant for ore deposits exploration

**Dejan Radivojević**, Evolucija jugoistočnog dela Panonskog basena i njene implikacije

**Dejan Radivojević**, Evolution of Southeastern part of the Pannonian Basin and its implications

**Ranka Stanković**, Harmonizacija geodata korišćenjem povezanih otvorenih podataka

**Ranka Stanković**, Harmonization of Geodata Using Linked Open Data

## PRIMENA AUTOREGRESIVNOG MODELA, SIVOG MODELA I BILOT METODE NA IZVORIŠIMA PODZEMNIH VODA

**Jelena Ratković, Dušan Polomčić, Zoran Gligorić, Dragoljub Bajić**  
Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, Srbija  
E-mail: jelena.mocevic@rgf.rs

**Ključne reči: sivi model, biplot metoda, izvorište podzemnih voda, prognoza, rekonstrukcija.**

Upravljanje podzemnim vodama predstavlja jedan od najvažnijih zadataka današnjice i neophodno je pronaći što pouzdanije metode za očuvanje ovog resursa. U praksi se vodosnabevanje određenog područja i obezbeđivanje dovoljne količine podzemnih voda zadovoljavajućeg kvaliteta rešava izgradnjom izvorišta podzemnih voda. Uspešnost upravljanja izvorištem podzemnih voda u velikoj meri zavisi od prirodnih mogućnosti područja na kome se nalazi, količine i kvaliteta podataka prikupljenih u toku njegovog rada i racionalnih prognoza budućih potreba za vodom i mogućnosti da ih hidrogeološka sredina obezbedi. Osnova za postavljanje prognoza količina podzemnih voda koje se mogu održivo zahvatati zasniva se na podacima sprovedenog monitoringa režima podzemnih voda (režima zahvatanja i režima nivoa podzemnih voda uz praćenje kvalitativnog režima) u dužem vremenskom periodu. Pouzdane prognoze nivoa, bilansa, brzine i pravca kretanja podzemnih voda igraju važnu ulogu budući da pružaju bitne informacije o kvantitativnim karakteristikama izdani iz koje se voda zahvata. U ovom radu prezentovana je razvijena metodologija za rekonstrukciju/prognozu podataka upotrebom autoregresivnog modela, sivog modela i biplot metode. Metodologija je razvijena sa ciljem da se na osnovu podataka osmatranih u periodu eksploatacije izvorišta rekonstruišu/prognoziraju vrednosti nivoa podzemnih voda i ukupnog kapaciteta izvorišta. Procena tačnosti rekonstruisanih vrednosti rađena je na osnovu utvrđenih kriterijuma koji su pokazali visoku tačnost primenjenih modela. Za primenu autoregresivnog modela, sivog modela i biplot metode kao ulazni podaci koriste se evidencije o eksploatisanim količinama podzemnih voda. Autoregresivni model je model za obradu statističkih vremenskih serija. Primenom ovog modela vrši se prognoza vrednosti trenutnih i budućih promenljivih na osnovu vrednosti iste promenljive u različitim fazama. Upotrebom AR modela rekonstruiše se vremenski period kada su vršena merenja i on predstavlja ulazne podatke za sivi model. *Sivi modeli* prognoziraju buduće vrednosti vremenske serije zasnovane samo na skupu osmatranih podataka (merene, originalne vrednosti). Upotrebom sivog modela rekonstruiše/prognoziraju se vrednosti pijezometarskog nivoa za period kada nisu vršena merenja. Kompletirani podaci vremenskog perioda kada su vršena merenja i pijezometarskog nivoa predstavljaju ulazne podatke za primenu biplot metode. Biplot metoda se sastoji od zamene nedostajućih vrednosti proizvoljnim vrednostima da bi se popunila (kompletirala) matrica, a zatim se računa SVD (singular value decomposition) koristeći samo 2 komponente. Biplot metoda se koristi za prognoziranje nedostajućih vrednosti ukupnog kapaciteta izvorišta u periodu kada nisu vršena merenja. U oceni primenjenog načina rekonstrukcije/prognoze podataka dobijeni su zadovoljavajući rezultati, čime se dokazalo da se razvijena metodologija može koristiti na podacima vezanim za izvorišta podzemnih voda. Sa rekonstrukcijom nedostajućih vrednosti pijezometarskih nivoa i ukupnog kapaciteta izvorišta kompletiraju se podaci o izvorištu za ceo period njegovog rada i obezbeđuju dovoljno pouzdani ulazni podaci za dalje rešavanje problema vezanih za mogućnost proširenja postojećeg izvorišta, prognoze efekata eksploatacije izvorišta u dužem vremenskom periodu i davanje optimalnih rešenja pri izradi budućih vodozahvatnih objekata. Prikazana i verifikovana metodologija se može primeniti na sistemima za zahvatanje podzemnih voda, ali i na drugim sistemima kao što su: sistemi za odbranu od podzemnih voda (rudnici, hidrotehnički objekti, poljoprivredna, industrijska i urbana područja), sistemi za zaštitu podzemnih voda, hidrometeorološki sistemi, hidrološki sistemi, i dr.

## APPLICATION OF THE AUTOREGRESSIVE MODEL, GREY MODEL AND BIPLLOT METHOD TO GROUNDWATER SOURCES

**Jelena Ratković, Dušan Polomčić, Zoran Gligorić, Dragoljub Bajić**

Faculty of Mining and Geology, Belgrade, Serbia

E-mail: jelena.mocevic@rgf.rs

**Key words: grey model, biplot method, groundwater source, prediction, reconstruction**

Groundwater management is one of today's most important tasks. Methods, as reliable as possible, need to be developed to conserve groundwater resources. In practice, public water supply sources that rely on groundwater are built to provide drinking water and ensure a sufficient quantity and satisfactory quality of groundwater. Effective management of a groundwater source largely depends on natural circumstances *in situ*, the amount and quality of the data collected while the groundwater source is in service, and effective prediction of the future water demand and the ability of the hydrogeologic environment to meet such demand. Predictions of the quantities of groundwater that can be abstracted in a sustainable manner are based on long-term groundwater dynamics monitoring data (abstraction regime, groundwater levels and groundwater quality). Reliable predictions of groundwater levels and groundwater flow velocity and direction play an important role, given that they provide important information about the quantitative characteristics of the captured aquifer. The paper describes a methodology for reconstructing/predicting such data using an autoregressive (AR) model, gray model and biplot method. The methodology was developed to reconstruct/predict groundwater levels and groundwater source capacity based on monitoring data collected while the groundwater source was in service. The accuracy of the reconstructed data is estimated according to predefined criteria, which indicated a high level of accuracy of the models. The input data for the AR model, gray model and biplot method are obtained from records of the abstracted quantities of groundwater. The AR model is used to process statistical time-series and estimate current and future variables based on their values at different stages. The AR model reconstructs the period during which measurements were made and provides input data for the gray model. The gray model predicts future values of a time-series, based solely on the set of observed data (measured, original values). The gray model reconstructs/predicts values of piezometric head levels over a period during which it was not measured. The completed dataset, including dates of measurement and piezometric head values, constitutes input data for the biplot method. The biplot method is used to substitute missing data with arbitrary values, in order to complete the matrix, and then singular value decomposition is undertaken using only two components. The biplot method serves to predict missing groundwater source capacity data, for the period during which the capacity was not measured. The proposed reconstruction/prediction approach was assessed as satisfactory, proving that the methodology can be applied to groundwater source data. The reconstruction of missing values of piezometric head and total groundwater capacity completes the dataset over the entire period of operation of the groundwater source, and provides sufficiently reliable data to address any groundwater source expansion issues, predict the effect of long-term groundwater abstraction, and suggest optimal water well designs for the future. In addition to groundwater abstraction systems, the proposed and verified methodology can be applied to systems for the protection against groundwater (mines, hydraulic structures, and agricultural, industrial and urban areas), groundwater pollution control systems, hydrometeorological systems, hydrological systems and the like.