



Драгољуб Бајић¹, Милица Степановић²

Стручни рад
DOI: 10.5937/VIK25113B

АНАЛИЗА РИЗИКА И ПРОЦЕНА УГРОЖЕНОСТИ ПОДЗЕМНИХ ВОДА: СЛУЧАЈ ИЗВОРИШТА „НОВОСЕЛИЈА“ (БАЊА ЛУКА, РЕПУБЛИКА СРПСКА, БОСНА И ХЕРЦЕГОВИНА)

Резиме: Рад приказује анализу ризика и процену угрожености подземних вода изворишта „Новоселија“ у Бањој Луци (Република Српска, Босна и Херцеговина). Применом GOD методе, извршена је оцена рањивости подземних вода као и процена ризика на потенцијално загађење. Резултати указују на зоне различитог степена осетљивости, пружајући научну основу за заштиту подземних вода и одрживо управљање водним ресурсима. Резултати наглашавају значај хидрогеолошких истраживања у очувању изворишта пијаћих вода и подржавају спровођење циљаних мера заштите животне средине.

Кључне речи: хидрогеолошка истраживања, GOD метода, управљање водним ресурсима, заштита подземних вода, пијаће воде

RISK ANALYSIS AND VULNERABILITY ASSESSMENT OF GROUNDWATER: THE CASE OF THE „NOVOSELIJA“ SOURCE (BANJA LUKA, REPUBLIC OF SRPSKA, BOSNIA AND HERZEGOVINA)

Abstract: This paper presents a risk analysis and groundwater vulnerability assessment of the „Novoseliја“ spring in Banja Luka (Republika Srpska, Bosnia and Herzegovina). By applying the GOD method, the vulnerability of groundwater and the risk of potential contamination were evaluated. The results indicate zones with varying degrees of sensitivity, providing a scientific basis for groundwater protection and sustainable water resource management. The findings highlight the importance of hydrogeological research in preserving drinking water sources and support the implementation of targeted environmental protection measures.

Key Words: hydrogeological research, GOD method, water resource management, groundwater protection, drinking water

1. Увод

Процена рањивости подземних вода и ризика од загађења представља кључну основу за планирање и управљање овим ресурсима, како у погледу њихове заштите, та-

¹ Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, Београд, dragoljub.bajic@rgf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-4839-1093

² Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, Београд, milica.stepanovic@rgf.bg.ac.rs, ORCID: 0009-0006-1594-3898



ко и упроцени ризика и предузимању превентивних мера. Појам „рањивост подземних вода“ увео је Margat (1968), а заснива се на претпоставци да природно окружење у одређеној мери штити подземне воде од продора загађивача. Током инфилтрације, вода са загађивачем може бити делимично прочишћена проласком кроз одређене седименте у порозној средини, захваљујући физичким, хемијским и биолошким процесима [2]. С друге стране, [11] разликују се природна и специфична рањивост. Природна зависи од геолошких и хидрогеолошких услова, док специфична укључује и карактеристике самих загађивача. Многи истраживачи сматрају специфичну рањивост релевантнијом, јер је подложна утицају антропогених фактора [10].

Рањивост подземних вода је релативна и не може се директно измерити. За њену процену користе се различити параметри као што су састав земљишта, карактеристике засићене и незасићене зоне, топографија и однос површинских и подземних вода [11].

Најчешће коришћене методе за процену рањивости су: DRASTIC, GLA, ЕПИК и GOD, које се разликују по параметрима које узимају у обзир и на основу којих се подручја класификују према степену рањивости. У новије време, све више се користе технике науке о подацима, попут машинског учења, за моделирање и процену рањивости подземних вода. Примери примене ових техника долазе из Марока [4], Ирана [5], Пакистана [1], Египта [3] и других земаља, где се комбинују са методама као што су DRASTIC и GALDIT. Такође, ГИС технологија игра важну улогу у просторно-временској анализи и визуализацији података [8, 9]. У оквиру овог рада, приказана је методологија за процену рањивости подземних вода у ширем подручју изворишта „Новоселија“, које снабдева становништво Бање Луке пијаћом водом. У ГИС софтверу примењена је GOD метода, а детаљан опис алгорита и резултата дат је у наставку рада.

2. Истражно подручје

Извориште „Новоселија“ је део регионалног водоводног система Бања Лука и снабдева око 200.000 потрошача на територији града Бања Лука, општине Челинац и дела општине Лакташи. Налази се на десној обали реке Врбас и постоји од 1942. године. Данас обухвата 11 бунара (од којих је 9 активних), 5 инфилтрационих базена за вештачко прихрањивање издани, 2 захвата површинске воде са Врбаса и постројење за прераду воде. Поред бунара, постоји и 8 активних пијезометара за праћење нивоа подземних вода.

Геолошки састав ширег подручја истраживања обухвата седименте мезозоица и кенозоика [7]. Најстарије стене у овом региону припадају горњетријаским седиментима, док су најмлађи наслагама речне терасе, сачињене од шљункова дебљине 10 - 12 метара. Управо у тим наслагама развијена је издан из које се врши експлоатација подземних вода. Карактерише се добрим филтрационим особинама, а коефицијент филтрације износи око $7,5 \times 10^{-3}$ m/s.

Поред изворишта „Новоселија“, постоји и мање извориште „Суботица“, удаљено 22 km од града, са неколико каптираних извора, укупне издашности око 15-20 l/s, а које није предмет овог рада.

На слици 1 су приказане фотографије предметног изворишта, где се могу уочити водозахватни објекти, део корита реке Врбас и инфилтрациони басен.



Слика 1. Извориште „Новоселија“
Figure 1. The „Novoselija“ groundwater source

3. Методологија

Решење проблема управљања и анализе рањивости подземних вода у конкретном случају започиње се прикупљањем и припремом података, затим њиховом анализом и интерпретацијом, применом техника науке о подацима, и на крају визуелизацијом. У овом истраживању примењена је техника ГИС-а као метода за процену рањивости подземних вода, уз коришћење GOD методе (Foster et al, 2002).

Наука о просторним подацима представља спој ГИС-а и класичне науке о подацима, са фокусом на геопросторне информације и новије рачунарске технике. Она

омогућава анализу локација, њихових међусобних односа и просторних образаца, користећи тачке, линије, полигоне, растере и атрибутне податке.

У овом случају, алгоритам за процену рањивости обухвата следеће кораке:

а) Прикупљање података - укључује теренска истраживања, архивске материјале, геолошке и хидрогеолошке карте, податке о локацијама бунара и пијезометара, дубини до нивоа подземних вода, као и резултате изведених тестова црпења.

б) Припрема података - сређивање, нормализација и трансформација података у формат погодан за анализу.

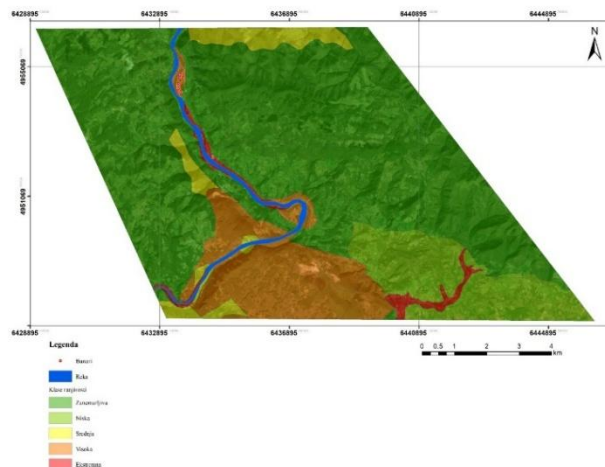
в) Анализа података - класификација литолошких јединица према GOD методи, која користи три параметра: хидродинамичке особине водоносника („G“), литолошки састав и степен консолидованости незасићене зоне („O“), и дубину до водоносника („D“).

г) ГИС обрада - геореференцирање карата, креирање тематских слојева за сваки параметар, додељивање нумеричких вредности и израчунавање индекса рањивости множењем вредности „G“, „O“ и „D“.

д) Визуелизација података - кроз тематске карте са бојама и симболима, уз легенду и текстуални опис, добија се коначна мапа рањивости подземних вода.

4. Резултати и дискусија

На основу анализе три кључна фактора GOD методе - „G“ (хидродинамичке карактеристике водоносника), „O“ (литолошки састав и степен консолидованости у зони аерације) и „D“ (дубина до подземне воде) - израђена је финална мапа рањивости подземних вода за шире подручје изворишта „Новоселија“ (слика 2).



Слика 2. Карта рањивости подземних вода шире зоне изворишта „Новоселија“
Figure 2. Groundwater vulnerability map of the „Novoselija“ groundwater source



Мапа приказује пет класа рањивости: од занемарљиве до екстремне. Највећи степен рањивости утврђен је управо у зони изворишта, у оквиру терасних шљункова, што је и очекивано с обзиром на њихову порозност и танак заштитни глинени слој. Јужно од изворишта, у зони алувијалних седимената, рањивост је оцењена као екстремна, што указује на висок ризик од брзог продора загађивача. Са источне и западне стране, водоносник је ограничен флишним седиментима кредне старости, који су хидрогеолошки класификовани као „условно безводни“, па је у тим зонама рањивост занемарљива. Ови подаци су од великог значаја за дефинисање зона санитарне заштите изворишта, у складу са важећим прописима Републике Српске.

5. Закључак

Комбинација ГИС техника и методологије науке о подацима представља унапређени приступ који омогућава прецизну и ефикасну анализу просторних и временских фактора у процени рањивости подземних вода. Једна од главних предности ГИС-а је могућност идентификације просторне расподеле рањивости на основу географски повезаних података, као што су ниво подземне воде, геолошке карактеристике терена и извори загађења.

Оваквим интегрисаним приступом добијају се модели рањивости који се могу применити на регионалном, националном и глобалном нивоу. Они могу приказати тренутно стање или предвидети будуће промене, што омогућава креирање стратегија за смањење ризика од загађења и заштиту подземних вода. Ове стратегије се могу прилагођавати у складу са новим подацима у реалном времену. Могу се приказати конкретни резултати и закључци до којих се дошло, услове под којима ти закључци важе, ограничења као и евентуалне правце потребних додатних истраживања.

Захвалница

Аутори изражавају захвалност Министарству науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије на подршци научним истраживањима, која су од суштинског значаја за развој друштва заснованог на знању (Уговор бр. 4451-03-136/2025-03/200126).

6. Литература

- [1] Awais M, Aslam B, Maqsoom A, Khali U, Ullah F, Azam S, Imran M. Assessing nitrate contamination risk in groundwater: a machine learning approach. *Applied Sciences*, 11, 21, 10034. <https://doi.org/10.3390/app112110034>, 2021.
- [2] Brassington R. Field hydrogeology, 3rd edn., 276 pp. Chichester: John Wiley & Sons. Foster S. S. D, Hirata R. Gomes D, Elia M, Paris M. *Groundwater quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities, and environments agencies*. The World Bank, Washington DC, USA, 103 p, 2002.
- [3] Gad M, Gaagai A, Eid M. H, Szucs P, Hussein H, Elsherbiny O, Elsayed S, Khalifa M. M, Moghmanm F. S, Moustapha M. E, Tolan D. A, Ibrahim H. Groundwater quality and health risk assessment using indexing approaches, multivariate statistical analysis, artificial neural networks,



- and GIS techniques in EI Kharga Oasis, Egypt. - *Water*, 15, 6, 1216. <https://doi.org/10.3390/w15061216>, 2023.
- [4] Ijlil S, Essahlaoui A, Mohajane M, Essahlaoui N, Mili E. M, Van Rompaey A. Machine learning algorithms for modeling and mapping of groundwater pollution risk: a study to reach water security and sustainable development (sdg) goals in a mediterranean aquifer system. *Remote Sensing*, 14, 10, 2379. <https://doi.org/10.3390/rs14102379>, 2022.
- [5] Jalali R, Tishezani P, Hashemi H. A machine learning framework for spatio-temporal vulnerability mapping of groundwaters to nitrate in a data scarce region in Lenjanat Plain, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 42088-42110. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33920-8>, 2024.
- [6] Margat, J. Vulnerabilite des nappes d'eau souterraine a la pollution (Groundwater Vulnerability to Contamination). Bases de al cartographie (Doc.) 68 SGC 198HYD, BRGM, Orleans, 1968.
- [7] Mojićević M, Vilovski S, Tomić B. *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Banja Luka*. Institut za geološka istraživanja Sarajevo, 1969.
- [8] Motlagh Z. K, Derakhshani R, Sayadi M. H, Groundwater vulnerability assessment in Central Iran: integration of gIS-based DRASTIC model and a machine learning approach. - *Groundwater for Sustainable Development*, 23, 101037. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2023.101037>, 2023.
- [9] Smida H, Tarki M, Gammoudi N, Dassi L. GIS-based multicriteria and artificial Neural network (ANN) investigation for the assessment of groundwater vulnerability and pollution hazard in The Barga Shallow Aquifer (Central Tunisia): a critical review of generic and modified DRASTIC models. - *Journal of Contaminant Hydrology*, 259, 104245. <https://doi.org/10.1016/j.jcondyd.2023.104245>, 2023.
- [10] Stepanović M, Bajić D, Polomčić D, Šikman S, Novitović A. Procena ugroženosti podzemnih voda primenom GOD metode: slučaj izvorišta za vodosnabdevanje Sopota. *Vodoprivreda*, 53, 311-312, 143-151, 2021.
- [11] Vrba, J. and Zaporozec, A. *Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability - IAH International Contributions to Hydrogeology*, 16. FRG, Heise Publication, Hannover, 131 p, 1994.