

ODREĐIVANJE STAROSTI I POREKLA PODZEMNIH VODA SA TERITORIJE VOJVODINE

**Jovana NIKOLOV¹, Tanja PETROVIĆ PANTIĆ², Ines KRAJCAR BRONIĆ³,
Nataša TODOROVIĆ¹, Jadranka BAREŠIĆ³, Tamara MARKOVIĆ⁴,
Kristina BIKIT¹, Milan TOMIĆ²**

- 1) *Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za fiziku, Novi Sad, Srbija, jovana.nikolov@df.uns.ac.rs*
- 2) *Geološki zavod, Beograd, Srbija*
- 3) *Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvatska*
- 4) *Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, Hrvatski geološki institut, Zagreb, Hrvatska*

SADRŽAJ

U radu su prikazani rezultati prvog dela istraživanja podzemnih voda sa teritorije AP Vojvodine. Merenjem koncentracije aktivnosti radioaktivnog izotopa tricijuma (period poluraspada 12.33 godina) može se odrediti starost mlađih voda. Postojanje ³H u podzemnim vodama ukazuje da se sistem prihranjivao sa vodama starim najviše 62 godine. Moguće je razlikovati podzemne vode koje su u toku poslednjih šezdesetak godina imale veze sa padavinama, od izdanskih voda koje nemaju tako brzu vodozamenu. Pored izmerene koncentracije aktivnosti tricijuma određivani su i stabilni izotopi $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$.

1. Uvod

Na teritoriji Autonomne Pokrajine Vojvodine, Republike Srbije podzemne vode se koriste za vodosnabdevanje domaćinstava, poljoprivrede i industrije, dok se podzemne vode povišene temperature koriste u balneologiji, za plastenike i za grejanje. Procenjuje se da podzemne vode obezbeđuju oko 70% potreba za vodom za domaćinstva i industriju u Srbiji, a na području Vojvodine je ovo isključivi vid vodosnabdevanja. Prema raspoloživim statističkim podacima i proceni količina koje se eksploatišu za potrebe javnog i individualnog vodosnabdevanja seoskog stanovništva, danas se u Srbiji eksploatišu ukupno oko $5 \cdot 10^8 \text{ m}^3$ podzemne vode [1]. Ukupni kapaciteti postojećih izvorišta podzemnih voda u Srbiji iznose oko $6.78 \cdot 10^8 \text{ m}^3$ godišnje ili $21,5 \text{ m}^3/\text{s}$, od toga $6,25 \text{ m}^3/\text{s}$ za Vojvodinu i $15 \text{ m}^3/\text{s}$ za Centralnu Srbiju [1]. Na području Vojvodine izdvaja se izdan pod pritiskom (arterška izdan) i izdan sa slobodnim nivoom. Ovaj teren karakteriše nadeksploatacija i nedovoljno obnavljanje što uslovljava pojavu deficita u vodosnabdevanju. Zbog toga je od izuzetnog značaja poznavati starost ovih voda i iskoristivost u procesu vodosnabdevanja.

U radu su prikazani rezultati prvog dela istraživanja podzemnih voda sa teritorije AP Vojvodine. Merenjem koncentracije aktivnosti radioaktivnog izotopa tricijuma (period poluraspada 12.33 godina) može se odrediti starost vode. Tricijum ³H se, kao i stabilni izotopi vodonika ¹H i ²H, veže u molekul vode, tako da ga ima u celoj hidrosferi, učestvuje u hidrološkom ciklusu i može se detektovati u podzemnim vodama. Koncentracija aktivnosti tricijuma se često izražava u tricijumskim jedinicama (TU), to je posebna jedinica koja označava 1 atom ³H na 10^{18} atoma ¹H, odnosno $1 \text{ TU} = 0.118 \text{ Bq/l}$. Postojanje ³H u podzemnim vodama ukazuje da se sistem prihranjivao sa vodama starim najviše 63 godine. Kad govorimo o starosti voda, to znači da je moguće razlikovati podzemne vode koje su u toku poslednjih šezdesetak godina imale kontakt

sa padavinama, od voda koje nemaju tako brzu vodozamenu. Tricijum (^3H) se koristi kao metoda za određivanje starosti vode i pogodan je za vode mlađe od 1952-e, dok se za starije vode koristi izotop ugljenika ^{14}C . Odsustvo tricijuma ukazuje na starije vode. Prema sadržaju tricijuma u vodi, možemo razlikovati [2]:

- <0,8 TU ukazuje na subsavremene vode (starije od 63 godine; pre 1952-e),
- 0,8 do 4 TU ukazuje na mešanje subsavremenih i savremenih voda,
- 5 do 15 TU ukazuje na savremene vode (<5 do 10 godina),
- 15 do 30 TU ukazuje na uticaje iz razdoblja povišenih atmosferskih koncentracija aktivnosti tricijuma,
- >30 TU prihranjivanje podzemnih voda se vršilo 1960-tih i 1970-tih godina,
- >50 TU prihranjivanje podzemnih voda se vršilo 1960.-tih godina.

U dosadašnjim istraživanjima starosti podzemnih voda, analize tricijuma rađene su za područje centralnih delova Srbije [3-4], dok su za područje Vojvodine analize tricijuma rađene samo za Deliblatsku peščaru [5].

2. Opis lokacije i uzorkovanje

U okviru Panonskog basena Vojvodine najveće rasprostranjenje imaju kvartarni sedimenti predstavljeni peskovima, lesom, peskovito-glinovitim sedimentima, šljunkovima, dok se neogeni sedimenti, kao i magmatske stene javljaju mestimično. Rasprostranjenje neogenih sedimenata raste sa porastom dubine.

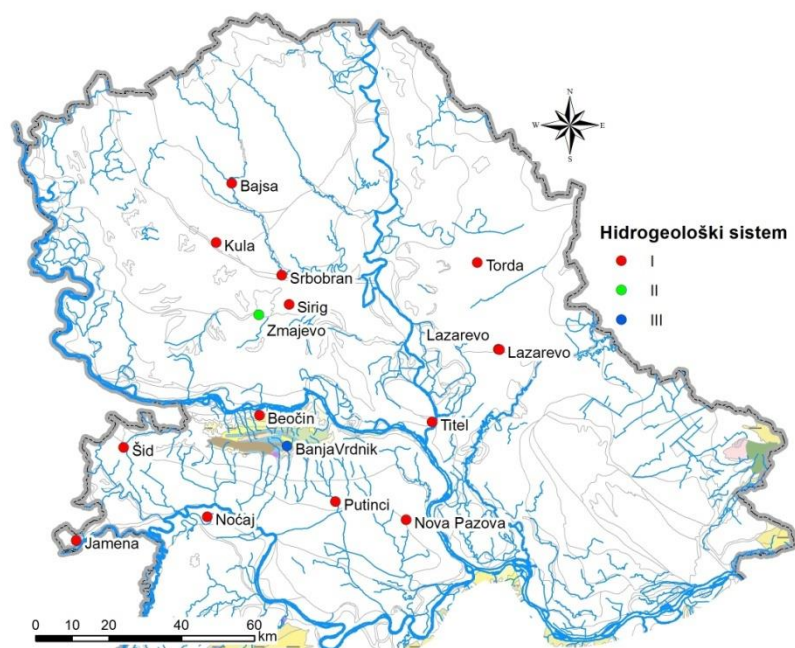
U geološkoj građi Vojvodine izdvajaju se [6]:

- kompleks, predstavljen granitima i gnajsevima prekambrijumske starosti, kristalastim škriljcima paleozojske starosti koji su pokriveni flišem i magmatitima mezozoika;
- kompleks neogenih tvorevina, izgrađen od peščara, glinaca, laporaca, litotamnijjskih krečnjaka, glina, peskova i šljunkova, a podređeno se javljaju i magmatske i vulkanske stene i njihovi piroklastični ekvivalenti;
- kvartarni sedimenti, predstavljeni eolskima (peskovi, les) i fluvijalnim (peskovito-glinoviti alevriti, gline, peskovi, šljunak) sedimentima.

Sa hidrogeološkog aspekta, na području Vojvodine izdvajaju se četiri hidrogeološka sistema [7]:

- *I hidrogeološki sistem* obuhvata sedimente od površine do podine gornjeg ponta. Razvijen je na čitavoj površini Vojvodine, izuzev Fruške Gore i Vršackog brega. Podzemne vode se formiraju u okviru peskova i šljunkova razne granulacije, dok gline predstavljaju izolator. Ovaj sistem ima najveći značaj za vodosnabdevanje stanovništva.
- *II hidrogeološki sistem* se nalazi neposredno ispod prvog sistema, a čine ga stene donjeg ponta i panona. Litologiju čine lapori i laporci, sa proslojcihapeščara. Drugi sistem nema veći hidrogeološki značaj. On predstavlja hidrauličku izolaciju između prvog i trećeg hidrogeološkog sistema.
- *III hidrogeološki sistem* obuhvata stene miocena, paleogena, jure i krede. Rezervoar sistema čine peščari, konglomerati, krečnjaci i breče, a izolator lapori, laporci i gline.
- *IV hidrogeološki sistem* obuhvata magmatske, metamorfne i sedimentne stene trijaskе i paleozojske starosti. Najznačajnije količine voda formiraju se u okviru ispucalih trijaskih krečnjaka i dolomita.

Lokacije sa kojih su u prvoj etapi projekta uzeti uzorci prikazane su na Slici 1.



Slika 1. Karta Vojvodine na geološkoj podlozi sa prikazom lokacija sa kojih su uzorkovane podzemne vode.

Koncepcija istraživanja bila je da se uzorci vode zahvate iz sva četiri hidrogeološka sistema, te da se u uzorcima izmeri koncentracija aktivnosti tricijuma i sadržaj stabilnih izotopa ^2H i ^{18}O . Pretpostavka je bila da će se tricijum detektovati u vodama iz prvog hidrogeološkog sistema gde vode zaležu na manjim dubinama i gde je brža vodozamena kao i mešanje sa površinskim vodama. U ovom sistemu se očekuju vrednosti izotopa $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ uz globalnu svetsku meteorsku liniju GMWL [8], odnosno da vrednosti ukažu na prihranjivanje I hidrogeološkog sistema od atmosferskih voda. U dubljim sistemima ne očekuje se prisustvo tricijuma, ali su neizvesni podaci izotopa $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$.

3. Metodi pripreme uzoraka i merenja

Uzorci za merenje koncentracije aktivnosti tricijuma su pipremani i mereni u Institutu Ruđer Bošković u Zagrebu. Obzirom da se u podzemnim vodama očekuju niske koncentracije aktivnosti tricijuma neophodno je uzorke za analizu pripremiti metodom elektrolitičkog obogaćenja [9]. Koncentracija aktivnosti (nadalje: aktivnost A) ^3H u vodama određuje se tehnikom elektrolitičkog obogaćenja vode tricijumom i merenjem tečnim scintilacionim brojačem (LSC) Quantulus 1220. Pripremljeni uzorak sastoji se od 8 mL obogaćene vode i 12 mL scintilacionog koktela UltimaGold LLT. Uređaj za elektrolitičko obogaćenje sastoji se od 20 ćelija zapremine 500 mL, a prosečni faktor obogaćenja je $E = 23,6 \pm 2,3$ [10-11]. Granica detekcije koja se može postići uz pripremu elektrolitičkim obogaćenjem uz upotrebu pomenutog scintilacionog koktela je 0.5 TU. Merenje je vršeno u 6 ciklusa po 50 minuta.

Stabilni izotopi su u ispitivanim uzorcima mereni u Zavodu za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, Hrvatski geološki institut. Odnos stabilnih izotopa ($\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$) meren je spektrometrom Picarro L2130i, koji koristi *Cavity Ring Down Spectrometry* (CRDS) mernu tehniku. Rezultati merenja su prikazani kao δ vrednosti u promilima [‰] relativno u odnosu na standard V-SWOM. δ vrednosti su računane prema formuli:

$$\delta^{YZ} = \left(\frac{R_X}{R_S} - 1 \right) \cdot 1000 \quad (1)$$

gde je YZ oznaka za ^{18}O ili ^2H , R označava odnos teškog (slabije vezanog) i lakšeg (jače vezanog) izotopa (na primer, $^2\text{H}/^1\text{H}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$), a R_X i R_S su ovi odnosi u uzorku (X) i standardu (S), respektivno.

4. Rezultati i diskusija

Prvi deo ovog istraživanja obuhvatio je 15 različitih lokacija (16 uzoraka, dva iz Lazareva sa različitih dubina), a daljim tokom projekta biće obuhvaćeno još preostalih 15 lokacija od planiranih 30 iz sva četiri hidrogeološka sistema. Lokacije iz kojih su uzimani uzorci voda za analizu su određivani na osnovu geoloških i geografskih specifičnosti. Mesta uzimanja uzoraka se nalaze na prostoru koji obuhvata celu AP Vojvodinu (Srem, Banat i Bačka). Rezultati merenja prikazani su u Tabeli 1.

Sadržaj tricijuma u 14 analiziranih voda, je od 2,12 do 9,72 TU, dok u dva uzorka tricijum nije detektovan. Dobijene vrednosti ukazuju da su analizirane vode mlade, starosti do 10 godina. Vrednosti ukazuju i da je reč o mešanju atmosferskih voda sa podzemnim vodama. U selu Lazarevo uzet je uzorak vode iz bunara dubokog 40 m u okviru izdani sa slobodnim nivoom, dok je voda iz bunara dubokog 80 m zahvaćena iz izdani pod pritiskom.

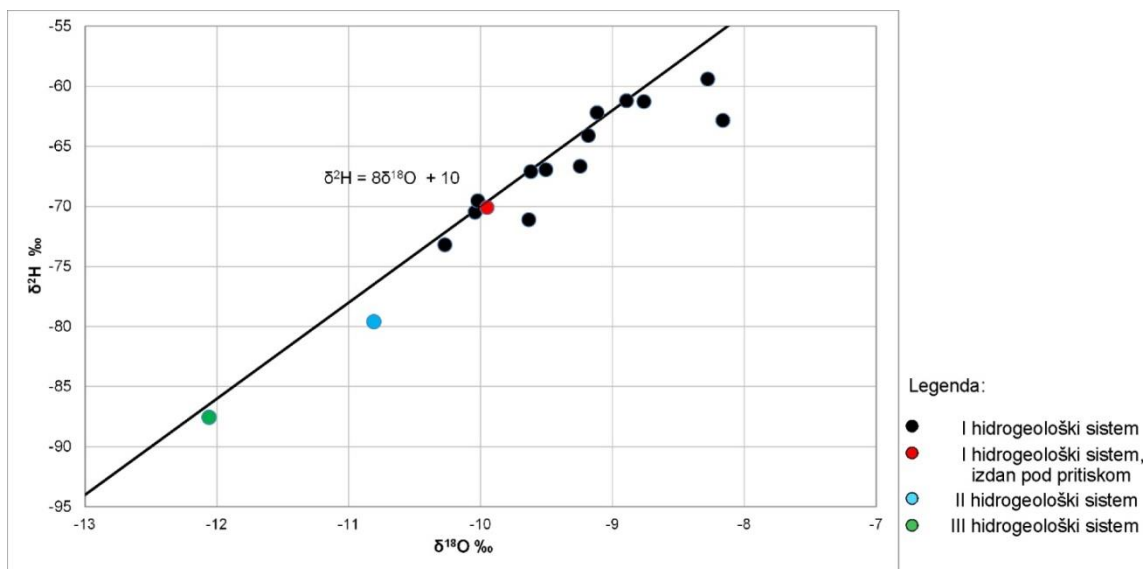
Tabela 1. Koncentracija aktivnosti tricijuma u analiziranim uzorcima

R.br.	Lokacija	A[TU]
1.	Srbobran	2,1(5)
2.	Beočin	4,0(8)
3.	Šid	4,8(10)
4.	Titel	2,6(6)
5.	Lazarevo, 40 m	5,5(10)
6.	Lazarevo, 80 m	< 0,5
7.	Bajša	< 0,5
8.	Sirig	3,4(14)
9.	Kula	9,7(18)
10.	Jamena	8,2(16)
11.	NoćajSalaš Noćajski	7,3(14)
12.	Putinci	4,6(9)
13.	Nova Pazova	5,8(10)
14.	Torda	5,8(10)
15.	Zmajev	5,4(9)
16.	Banja Vrdnik	6,7(12)

U istim uzorcima određen je i sadržaj stabilnih izotopa $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$. Vrednosti izotopa u podzemnim vodama Vojvodine su od -8,16 do -12,06 ‰ za $\delta^{18}\text{O}$ i od -59,41 do -87,55‰ za $\delta^2\text{H}$ (Slika 2).

Negativnije vrednosti $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ ukazuju na prihranjivanje na višim nadmorskim visinama ili u toku perioda zime. Negativnije vrednosti izotopa nađene su u uzorcima

voda koji su zahvaćeni iz dubljih vodonosnih slojeva. To su uzorci vode iz Lazareva (duboka bušotina 80 m, voda je iz I hidrogeološkog sistema) i Zmajeva (bušotina od 370 m, iz II hidrogeološkog sistema). Na Slici 2 je prikazan odnos sadržaja stabilnih izotopa $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ na izmerenim lokacijama, sa obeleženim oznakama hidrogeoloških sistema kojima izmereni uzorci pripadaju.



Slika 2. Odnos $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ u podzemnim vodama Vojvodine. Linija označava globalnu liniju padavina GWML [8]

5. Zaključak

Sadržaj tricijuma u 14 analiziranih voda, je od 2,12 do 9,72 TU, dok u dva uzorka tricijum nije detektovan. Dobijene vrednosti ukazuju da su analizirane vode mlade, starosti do 10 godina. Vrednosti ukazuju i da je reč o mešanju atmosferskih voda sa podzemnim vodama. U istim uzorcima određen je i sadržaj stabilnih izotopa $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$. Vrednosti izotopa u podzemnim vodama Vojvodine su od -8,16 do -12,06 ‰ za $\delta^{18}\text{O}$ i od -59,41 do -87,55 ‰ za $\delta^2\text{H}$. Odnos $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ pokazuje da su sve vode poreklom iz padavina.

Nastavak istraživanja će uključiti uzorke sa dodatnih lokacija kako bi se ravnomerno pokrila sva četiri hidrogeološka sistema. Takođe se slična studija može ponoviti i uzorkovanjem sa istih lokacija posle letnjeg perioda čime bi se proverio uticaj padavina na prihranjivanje analiziranih podzemnih voda.

6. Zahvalnost

Ovo istraživanje je rađeno u okviru kratkoročnog projekta od posebnog interesa za održivi razvoj u AP Vojvodini pod nazivom „Istraživanje karakteristika podzemnih voda metodom elektrolitičkog obogaćenja tricijuma“, sufinansiranog od strane Sekretarijata za nauku i tehnološki razvoj, AP Vojvodina prema rešenju br. 114-451-2538/2014-02, kao i u okviru naučnih projekata Ministarstva obrazovanja, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije br. OI171002 i III43002.

7. Literatura

- [1] Odluka o utvrđivanju nacionalnog programa zaštite životne sredine, "Sl. glasnik RS", br. 12/2010.
- [2] Motzer WE (2007) Tritium age dating of groundwater. *HydroVisions*, vol 16. Groundwater Resources Association of California
- [3] Milivojević, M., Perić, M., 1990. Studija: Geotermalna potencijalnost teritorije SR Srbije van teritorija SAP. Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.
- [4] Hadžišehović, M., 1993. Separat: Interpretacija rezultata izotopskih analiza geotermalnih voda na teritoriji Srbije južno od Save i Dunava, u Milovanović, B. Studija: Ocena geotermalnih resursa na teritoriji Srbije južno od Save i Dunava sa posebnim akcentom na najperspektivnije lokalnosti, Geozavod, Beograd.
- [5] Horvatinčić N., Grgić S., 1989, Izotopna istraživanja voda s područja južnog Banata, *Geološki vjesnik Zagreb*, Vol.42, 187-199.
- [6] Martinović, M., Zlokolica-Mandić, M., Vukićević, Z, 2010. Geotermalni atlas Vojvodine, Pokrajinski sekretarijat za energetiku i mineralne sirovine, AP Vojvodina.
- [7] Aksin, V., Milosavljević, S. 1982. Geotermalni potencijali SAP Vojvodine - istraživanje i korišćenje, Novi Sad.
- [8] Craig, H. (1961). Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 133, 1702-1703.
- [9] Nikolov J., Todorovic N., Jankovic M., Vostinar M., Bikit I., Veskovic M., Different methods for tritium determination in surface water by LSC, *Applied Radiation and Isotopes* 71 (2013) 51–56.
- [10] Barešić J, Krajcar Bronić I, Horvatinčić N, Obelić B, Sironić A, Kožar-Logar J. Mjerenje tricija u uzorcima voda tekućinskim scintilacijskim brojačem uz elektrolitičko obogaćenje. U: Krajcar Bronić I, Kopjar N, Milić M, Branica G, ur. Zbornik radova Osmog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja: 13.-15. travnja 2011; Krk. Zagreb: HDZZ, 2011. str. 461-7.
- [11] Krajcar Bronić I, Barešić J, Sironić A, Horvatinčić N. Analiza stabilnosti sustava za pripremu i mjerenje 3H i 14C. U: Knežević, Majer M, Krajcar Bronić I, Kopjar N, Milić M, Branica G, ur. Zbornik radova Devetog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja: 10.-12. travnja 2013; Krk. Zagreb: HDZZ, 2013. str. 495-501.

DETERMINATION OF THE GROUNDWATER AGE AND ORIGIN IN VOJVODINA

**Jovana NIKOLOV¹, Tanja PETROVIĆ PANTIĆ², Ines KRAJCAR BRONIĆ³, Nataša TODOROVIĆ¹, Jadranka BAREŠIĆ³, Tamara MARKOVIĆ⁴,
Kristina BIKIT¹, Milan TOMIĆ²**

1) *University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Physics, Novi Sad, Serbia, jovana.nikolov@df.uns.ac.rs*

2) *Geological Institute of Serbia, Belgrade, Serbia*

3) *Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia*

4) *Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Geological Institute of Croatia, Zagreb, Croatia*

ABSTRACT

This paper presents the results of the first part of the survey of groundwater from Vojvodina region. By measuring the activity concentration of the radioactive isotope tritium (half-life of 12.33 years) one can determine the age of young water. The presence of ³H in groundwater indicates that the system was supplied by waters that are more than 62 years old. It is possible to distinguish the subterranean waters influenced by precipitation in the last sixty years, aquifer waters that do not have such quick water exchange. Beside measured concentrations of tritium activity the ratio of stable isotopes $\delta^2\text{H}$ and $\delta^{18}\text{O}$ have been also determined.