

TRICIJ U OBORINAMA, POVRŠINSKIM I PODZEMNIM VODAMA NA PODRUČJU ZAGREBA

*Nada Horvatinić, Jadranka Barešić, Andreja Sironić, Ines Krajcar Bronić
i Bogomil Obelić*

Institut Ruđer Bošković, Zagreb
nada.horvatincic@irb.hr

UVOD

Mjerenja radioaktivnog izotopa tricija (^3H) i stabilnih izotopa vodika ($^2\text{H}/^1\text{H}$) i kisika ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) koji su sastavni dio molekule vode, mogu dati korisne informacije kod hidrogeoloških studija u svrhu praćenja miješanja površinskih i podzemnih voda, brzine cirkulacije vode u prirodi, posebno u krškim područjima gdje je izmjena površinske i podzemne vode relativno brza, te kod određivanja srednjeg vremena zadržavanja vode u podzemlju. Povišene koncentracije aktivnosti ^3H u prirodnim vodama mogu ukazivati i na određene kontaminacije, kao što je bilo značajno povišenje ^3H u atmosferi, odnosno oborinama, uslijed termonuklearnih eksplozija šezdesetih godina prošlog stoljeća [1], dok povišene koncentracije ^3H u površinskim i podzemnim vodama mogu biti posljedica većih ispusta iz nuklearnih elektrana.

Koncentracije ^3H te stabilnih izotopa $^2\text{H}/^1\text{H}$ i $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ u oborinama na području Zagreba prate se mjesečno od 1979. godine, a rezultati stanice Zagreb – Grič su uključeni u bazu podataka GNIP (Global Network of Isotopes in Precipitation) [2] preko Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA). Početkom 2010. godine započelo se s mjerenjima izotopa u rijeci Savi u Zagrebu te u podzemnoj vodi s područja vodocrpilišta Petruševac, koje se koristi za eksploataciju pitke vode. Mjerenja su uključena u Regionalni IAEA projekt RER/8/016 *Using Environmental Isotopes for Evaluation of Streamwater/Groundwater Interactions in Selected Aquifers in the Danube Basin* u kojem sudjeluje 6 podunavskih zemalja. Svrha projekta je praćenje utjecaja riječnih/površinskih voda na podzemne rezervoare voda u području Dunava i njegovih pritoka.

MATERIJAL I METODE

U okviru projekta RER/8/016, a u dogovoru sa suradnicima iz "Vodoopskrbe i odvodnje" te uz suglasnost "Hrvatskih voda" započelo je

uzorkovanje voda s vodocrpilišta na području Petruševca, kao područja pogodnog za praćenje utjecaja infiltrirane savske vode na podzemne vode tog vodonosnika. Za uzorkovanje vode odabrana su 3 piezometara s oznakama PP23/5, PP18/30 i PP19, te bunar oznake B-5A. Podaci o piezometrima i bunaru te o dinamici uzorkovanja voda za izotopne analize nalaze se u Tablici 1.

Tablica 1. Podaci o uzorkovanju voda

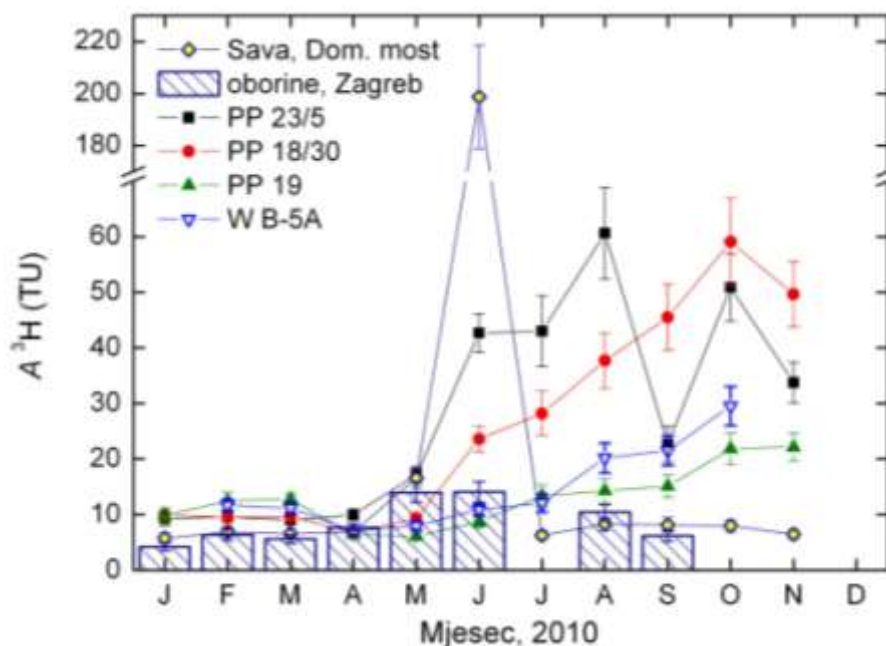
Lokacija	Udaljenost od Save (m)	Dubina (m)	Analize i uzorkovanje
Sava, Zagreb, ispod Domovinskog mosta			^3H – mjesečno $^2\text{H}/^1\text{H}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ – tjedno
Oborine, Zagreb-Grič			^3H , $^2\text{H}/^1\text{H}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ – mjesečne oborine
Bunar B-5A, Petruševac	400	38,0	^3H , $^2\text{H}/^1\text{H}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ – mjesečno
Piezometar PP23/5 Petruševac	200	16,4	^3H , $^2\text{H}/^1\text{H}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ – mjesečno
Piezometar PP18/30 Petruševac	500	32,0	^3H , $^2\text{H}/^1\text{H}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ – mjesečno
Piezometar PP19, Petruševac	500	41,6	^3H , $^2\text{H}/^1\text{H}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ – mjesečno

U ovom radu bit će prikazani samo rezultati mjerenja ^3H aktivnosti. Mjerenja stabilnih izotopa rade se u Institutu za geokemijska istraživanja, Budimpešta, u okviru suradnje na projektu RER/8/016, a ti će se rezultati, zajedno s ^3H aktivnostima, koristiti za daljnja hidrogeološka modeliranja.

Mjerenja ^3H aktivnosti u uzorcima voda radila su se tekućinskim scintilacijskim brojačem *Quantulus 1220* [3]. Zbog očekivano niskih koncentracija aktivnosti ^3H , svi uzorci vode prethodno su podvrgnuti postupku elektrolitičkog obogaćenja. Elektroliza se provodi na uređaju koji se sastoji od 20 elektrolitičkih ćelija, a postupkom elektrolize iz 500 mL uzorka vode dobije se volumen vode od (19 ± 1) mL uz faktor obogaćenja $(22,5 \pm 0,5)$ [4]. Granica detekcije je od 0,3 TU do 0,5 TU [3,4]. Koncentracija aktivnosti ^3H se izražava u tricijevim jedinicama, TU (*Tritium unit*): $^3\text{H}/^1\text{H} = 10^{-18}$, $1 \text{ TU} = 0,118 \text{ Bq/L}$.

REZULTATI

Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti ^3H u mjesečnim oborinama, rijeci Savi, te na području vodocrpilišta Petruševac tijekom 2010. godine, prikazani su na Slici 1.



Slika 1. Koncentracija aktivnosti tricija u mjesečnim oborinama, rijeci Savi i podzemnoj vodi iz vodonosnika na području Petruševca (piezometri PP23/5, PP18/30, PP19, bunar B-5A) u 2010. godini.

Koncentracija aktivnosti ^3H u oborinama pokazuje blagi porast u ljetnim mjesecima (14 TU), te niže vrijednosti u zimskim mjesecima, (4 – 6) TU, što je karakteristično za kontinentalne oborine. Koncentracije aktivnosti ^3H u rijeci Savi te u podzemnoj vodi na 3 piezometara i jednom bunaru pokazuju vrlo slične vrijednosti u razdoblju od siječnja do travnja 2010. Savska voda ima gotovo identične ^3H vrijednost kao oborine (~6 TU), dok su koncentracije aktivnosti ^3H u podzemnim vodama više za nekoliko TU i kreću se u rasponu (6 – 13) TU. Nagli porast ^3H aktivnosti u savskoj vodi pojavljuje se u lipnju 2010., (199 ± 20) TU (uzorak sakupljen 4.06.2010.), a već u srpnju ^3H aktivnost se vratila na vrijednost od ($6,3 \pm 0,8$) TU i u idućim mjesecima je na tom nivou.

Porast koncentracije aktivnosti ^3H zamijećen je i u podzemnim vodama vodonosnika Petruševac, ali znatno manje nego u savskoj vodi, te s razlikama između pojedinih piezometara i bunara. Maksimalne vrijednosti od 60 TU zamijećene su na piezometrima PP23/5 i PP18/30, ali s vremenskim zakašnjenjem od 2, odnosno 4 mjeseca u odnosu na rijeku Savu. U vodama piezometra PP19 i bunara B-5A porast ^3H aktivnosti je vrlo postupan bez izraženog maksimuma.

Zabilježene promjene u koncentraciji aktivnosti ^3H u mjerenim vodama uzrokovane su većim ispuštanjem voda obogaćenih tricijem iz Nuklearne elektrane Krško (NEK), i to u 6 navrata u razdoblju od 2.06. do 17.06.2010. (usmeno priopćenje suradnika NEK-a). Porast koncentracije aktivnosti ^3H u savskoj vodi, koji je i najviši, može se pripisati samo ispuštima od 2.06. i 3.06.2010., tj. prije 4.06.10. kada je uziman uzorak vode iz Save. Podzemne vode su uzorkovane 28.06.2010. i porast ^3H aktivnosti je posljedica svih 6 ispuštanja iz NEK tijekom lipnja 2010. No, zbog različitog vremena infiltracije savske vode u podzemne vode vodonosnika Petruševac, porast koncentracije aktivnosti ^3H je znatno manje izražen i sa različitim vremenskim odmakom u različitim piezometrima. Za sve lokacije podzemnih voda karakteristično je da su relativno blizu glavnog toka rijeke Save, od 200 do 500 m, s većim razlikama u dubini bušenja (od 16 m do 41,6 m) (Tablica 1). U piezometru PP23/5 koji je najbliži Savi i na najmanjoj dubini, odziv na povišenu ^3H aktivnost je najizraženiji i najbrži, dok je u piezometru PP19 i bunaru B-5A, koji su na najvećoj dubini i nešto udaljeniji od Save, porast ^3H aktivnosti vrlo postupan i slabo izražen.

ZAKLJUČAK

Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti ^3H u oborinama, rijeci Savi i podzemnim vodama vodonosnika Petruševac, pokazali su sljedeće:

- 1) Koncentracije aktivnosti ^3H u savskoj vodi i oborinama na području Zagreba gotovo su identične, što pokazuje da je utjecaj oborina na savsku vodu dominantan.
- 2) Znatn porast koncentracije aktivnosti ^3H u Savi u lipnju 2010. ukazuje na utjecaj ispuštene vode obogaćene tricijem iz NE Krško. Maksimalna koncentracija aktivnosti ^3H zabilježena je 1 – 2 dana nakon ispusta iz NEK u rijeku Savu.

- 3) Porast koncentracije aktivnosti ^3H u podzemnim vodama vodocrpilišta Petruševac znatno je manje izražen, te s različitim vremenskim zakašnjenjem u odnosu na rijeku Savu. Intenzitet i brzina odziva povišene koncentracije aktivnosti ^3H u podzemnim vodama u korelaciji je s udaljenosti od Save i dubinom bušotine. To ukazuje na manje razlike u vremenu infiltracije savske vode između pojedinih piezometara i bunara.
- 4) U ovom slučaju ^3H se pokazao kao vrlo dobar obilježivač, te će se rezultati ovih mjerenja, zajedno s rezultatima stabilnih izotopa $^2\text{H}/^1\text{H}$ i $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, koristiti za daljnja modeliranja u svrhu određivanja vremena infiltracije savske vode u podzemne rezervoare.

Zahvala

Zahvaljujemo suradnicima "Vodoopskrbe i odvodnje", gospođi Branki Jakuš, Miri Mihovec Grdić te gospodinu Mladenu Klemaru, na pomoći kod sakupljanja uzoraka vode i podacima za vodocrpilište Petruševac. Mjerenja su financirana iz IAEA projekta RER/8/016, te projekta Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa 098-0982709-2741.

LITERATURA

- [1] Rožanski K, Gonfiantini R, Araguas-Araguas L. Tritium in the global atmosphere: distribution patterns and recent trends. *J Phys G: Nucl Part Phys* 1991;17:523-536.
- [2] IAEA/WMO, Global Network of Isotopes in Precipitation. The GNIP database. Accessible at: <http://isohis.iaea.org>
- [3] Barešić J, Horvatinčić N, Krajcar Bronić I, Obelić B. Comparison of two techniques for low-level tritium measurement – gas proportional and liquid scintillation counting. Third European IRPA Congress, Proceedings, Full papers of poster presentations. IRPA (ur.). Helsinki, Finska: IRPA, 2010. P12-21-1 – P12-21-5. <http://www.irpa2010europe.com/proceedings/P12.htm>
- [4] 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. Ovaj Zbornik.

TRITIUM IN PRECIPITATION, SURFACE AND GROUNDWATERS IN THE ZAGREB AREA

*Nada Horvatinić, Jadranka Barešić, Andreja Sironić, Ines Krajcar Bronić
and Bogomil Obelić*

Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia
nada.horvatincic@irb.hr

Radioactive isotope tritium (^3H) and stable isotopes of hydrogen ($^2\text{H}/^1\text{H}$) and oxygen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) were measured in Sava River, precipitation and groundwater at 3 monitoring wells (piezometers) and 1 production well of the Petruševac aquifer, close to the Sava River. Samples were collected monthly during 2010. The investigation is included in the Regional IAEA Project RER/8/016 *Using Environmental Isotopes for Evaluation of Streamwater/Groundwater Interactions in Selected Aquifers in the Danube Basin*. Sava River is a tributary of Danube River and the aim of the investigation is to determine the influence of surface stream of Sava River to the groundwater of aquifer used for water exploitation.

In this work only ^3H results were presented. ^3H was measured by liquid scintillation counter *Quantulus 1220*, using electrolytic enrichment for all samples.

^3H activity in precipitation showed slight seasonal fluctuation between 4 TU and 14 TU, with higher values in summer. ^3H activity of Sava River and groundwater of the Petruševac aquifer followed ^3H of precipitation till May 2010. Significant increase of ^3H in Sava River was observed in June, (199 ± 20) TU, and in the next month it fell down at 6 TU. Increase of ^3H was also observed in groundwater but with damped response (maximum 60 TU) and with delay of 2 – 3 months related to Sava River. Different response of different piezometers and the well indicated the different infiltration times of surface water of Sava River to groundwater of the Petruševac aquifer. The increased ^3H activity in surface and groundwaters was caused by release of tritiated water from the Krško Nuclear Power Plant, 30 km upstream from Zagreb. The results of ^3H , $^2\text{H}/^1\text{H}$ and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ measurements will be used to determine the infiltration time of groundwater of the Petruševac aquifer using conceptual and mathematical models.