

AKTIVNOST ^{14}C U ATMOSFERI I BILJU U OKOLICI NUKLEARNE ELEKTRANE KRŠKO 2006. – 2010.

**Ines KRAJCAR BRONIĆ¹, Bogomil OBELIĆ¹, Nada HORVATINČIĆ¹,
Andreja SIRONIĆ¹, Jadranka BAREŠIĆ¹, Anita RAJTARIĆ¹, Borut BREZNIK²
i Aleš VOLČANŠEK²**

- 1) Institut "Ruđer Bošković", Zagreb, Hrvatska, krajcar@irb.hr
- 2) Nuklearna elektrarna Krško, Krško, Slovenija

SADRŽAJ

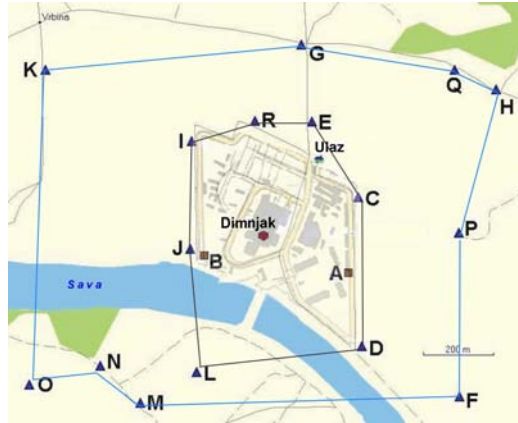
Monitoring ^{14}C aktivnosti u atmosferskom CO_2 i u bilju u okolici Nuklearne elektrane Krško provodi se redovito od 2006. godine. Opažen je porast ^{14}C aktivnosti u atmosferi za vrijeme i neposredno nakon remonta elektrane zbog povišenih aktivnosti ^{14}C ispuštenih u okoliš u tom razdoblju. ^{14}C aktivnost u biljkama također ovisi o vremenu remonta: ako se remont provodi u proljeće, bilje uzorkovano u ljeto i jesen te godine pokazuje nešto povećanu ^{14}C aktivnost. Prostorna raspodjela ^{14}C aktivnosti određena je prevladavajućim smjerom vjetra i udaljenošću od ventilacijskog ispusta.

1. Uvod

Ugljik se u prirodi nalazi u obliku 3 izotopa, ^{12}C (98,9%), ^{13}C (1,1%) i ^{14}C ($10^{-10}\%$), od kojih je jedino ^{14}C radioaktivan ($T_{1/2} = 5730$ god). ^{14}C nastaje interakcijom kozmičkih neutrona i dušika u visokim slojevima atmosfere, te se zajedno s ostalim izotopima ugljika raspoređuje u atmosferi i biosferi. Ravnotežna prirodna koncentracija ^{14}C odgovara specifičnoj aktivnosti od 226 Bq/kg ugljika. Uslijed nuklearnih i termonuklearnih pokusa ova se koncentracija u šezdesetim godinama 20. stoljeća udvostručila, da bi nakon stupanja na snagu ugovora o zabrani tih pokusa u atmosferi postupno opadala, te se danas približila prirodnoj koncentraciji. Koncentracija ^{14}C u atmosferi može varirati i uslijed lokalnih faktora, npr. kao posljedica rada nuklearnih elektrana [1]. U ovom radu ćemo prikazati rezultate monitoringa ^{14}C u atmosferi i bilju u neposrednoj okolici Nuklearne elektrane Krško (NEK) u Sloveniji u petogodišnjem razdoblju, od 2006. do 2010. godine.

2. Uzorkovanje i mjerenje

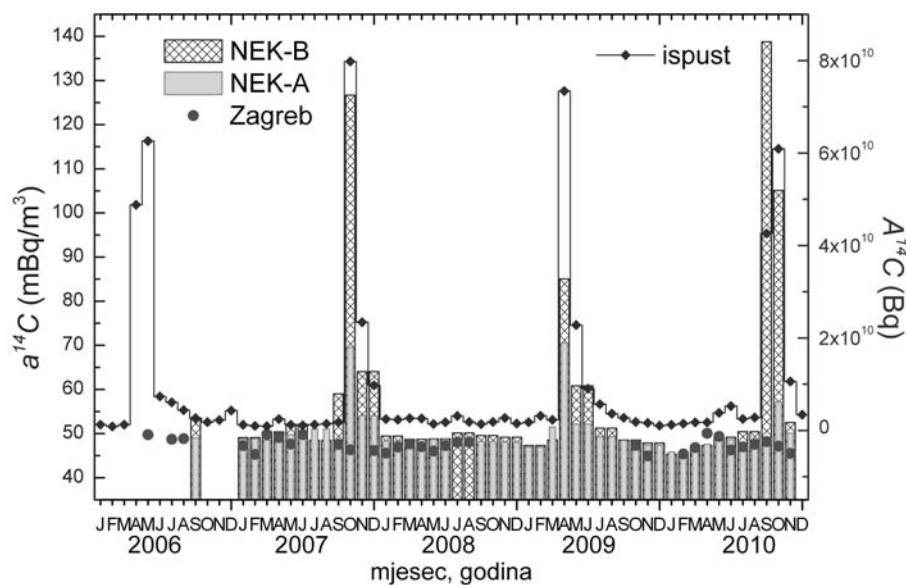
Specifična aktivnost ^{14}C u atmosferskom CO_2 prati se na dvije lokacije (A i B, slika 1) unutar NEK. Integralni dvomjesečni uzorci atmosferskog CO_2 se sakupljaju apsorpcijom CO_2 u zasićenoj otopini NaOH, a dobiveni Na_2CO_3 se prevodi u benzen [2,3,4]. U periodima remonta, koji se redovito provodi svakih 18 mjeseci, i neposredno nakon njega, intervali uzorkovanja su kraći. Biološki uzorci (jabuke, pšenica, kukuruz, povremeno druge vrste bilja) sakupljaju se dva puta godišnje na različitim udaljenostima od NEK (slika 1), kao i na kontrolnoj točki kod Dobove, 12 km jugoistočno od NEK. Biološki uzorci se nakon sušenja i karbonizacije spaljuju u struji kisika, a dobiveni CO_2 se apsorbira u smjesi Carbosorba[®]E i Permafluora[®]E [2,3,5]. Aktivnost ^{14}C mjeri se scintilacijskim brojačem *Quantulus 1220* [2,3]. Rezultati su izraženi kao specifična aktivnost ^{14}C (Bq/kg ugljika u biološkim uzorcima, odnosno mBq/m³ u uzorcima atmosferskog CO_2), no često i kao relativna specifična aktivnost $a^{14}\text{C}$ (omjer specifičnih ^{14}C aktivnosti uzorka i atmosfere prije antropogenog utjecaja), izražena u jedinicama "postotak suvremenog ugljika" ("*percent Modern Carbon*", pMC). Prema definiciji, 100 pMC odgovara 226 Bq/kgC, odnosno 46 mBq/m³ zraka, uz pretpostavku da je koncentracija CO_2 u zraku 384 ppmV [6].



Slika 1. Položaj lokacija za sakupljanje uzoraka. Atmosferski CO₂ na A i B; Bilje na C, D, E, I, J, L i R (unutarnji krug) i F, G, H, K, M, N, O, P i Q (vanjski krug).

3. Rezultati – atmosfera

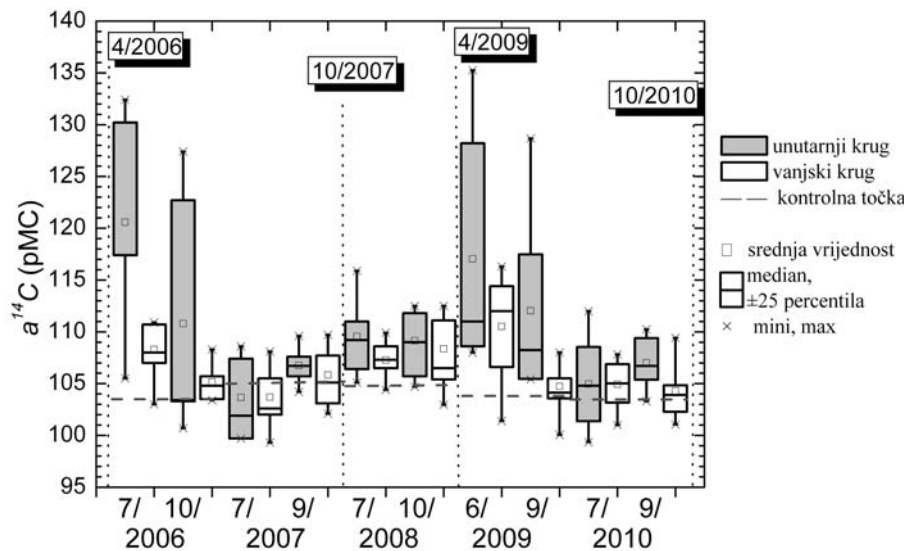
Na slici 2. prikazana je koncentracija ¹⁴C aktivnosti u atmosferskom CO₂ na lokacijama A i B unutar NEK i u Zagrebu. Također su te vrijednosti uspoređene i sa ¹⁴C aktivnošću izmjerenom u ventilacijskom otvoru ("dimnjaku") elektrane [7] i pokazuje se odlično slaganje ispuštene ¹⁴C aktivnosti za vrijeme remonta elektrane i koncentracije ¹⁴C aktivnosti u atmosferi. Na lokaciji B je gotovo redovito zamijećena viša aktivnost, budući da se ona nalazi u smjeru izraženijih vjetrova. Tri do četiri mjeseca nakon remonta aktivnosti ¹⁴C padaju na svoje uobičajene vrijednosti, a može se procijeniti da je vrijeme poluživota ¹⁴C u atmosferi oko 1,5 mjeseci. Srednje vrijednosti *a*¹⁴C u atmosferskom CO₂ u godinama kada je obavljan remont (2007., 2009. i 2010.) kreću se između 48,66 mBq/m³ i 51,88 mBq/m³ na lokaciji A, odnosno 54,92 mBq/m³ i 61,92 mBq/m³ na lokaciji B. Godine 2008., kada nije bilo remonta, te su vrijednosti bile 48,07 mBq/m³ (A) i 49,17 mBq/m³ (B), što predstavlja jedva vidljivo povišenje u odnosu na vrijednosti izmjerene u Zagrebu (47,66 mBq/m³ u 2007, 47,06 mBq/m³ u 2008. i 47,33 mBq/m³ u 2010.), u kojem je moguć i efekt smanjenja aktivnosti ¹⁴C u atmosferi zbog izgaranja fosilnih goriva tijekom zime [1].



Slika 2. Koncentracija aktivnosti ¹⁴C (*a*¹⁴C) u atmosferskom CO₂ na lokacijama A i B i u Zagrebu (lijeva ordinata). ¹⁴C aktivnost (*A*¹⁴C) u ispustu elektrane [7] (desna ordinata).

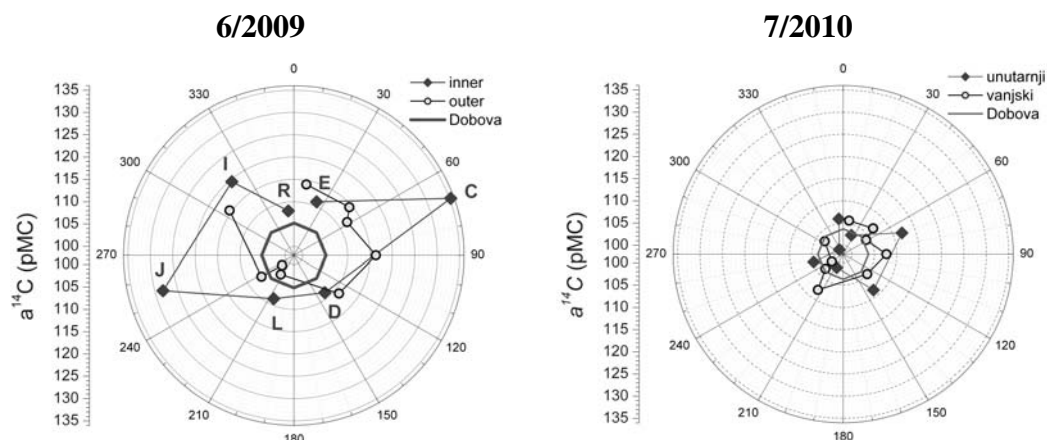
4. Rezultati – bilje

Zbirni rezultati ("box-plot") za sva dosad provedena uzorkovanja prikazani su na slici 3. Posebno su prikazani rezultati za unutarnji i vanjski krug, te za kontrolnu točku u Dobovi. Srednja aktivnost $a^{14}C$ za cijelo razdoblje 2006. – 2010. u unutarnjem krugu je viša (110,7 pMC) nego u vanjskom krugu (106,5 pMC) i na kontrolnoj točki (104,0 pMC). Povišene aktivnosti $a^{14}C$ opažene su u biološkom materijalu koji za fotosintezu koristi CO_2 iz atmosfere u razdoblju za vrijeme i nakon remonta obavljenog neposredno prije vegetacijskog perioda (u proljeće 2006. i 2009.).



Slika 3. $a^{14}C$ u bilju iz unutarnjeg i vanjskog kruga NEK i na kontrolnoj točki za razdoblje 2006. – 2010. Okomitim linijama označen je mjesec provođenja remonta.

Na slici 4 prikazana je prostorna raspodjela $a^{14}C$ u bilju za dva tipična uzorkovanja: 30.6.2009., neposredno nakon proljetnog remonta, te 6.7.2010., prije jesenskog remonta. Prostorna raspodjela ^{14}C aktivnosti u bilju (maksimalne izmjerene $a^{14}C$ vrijednosti na lokacijama C i J) u skladu je s prevladavajućim SW-NE smjerom vjetrova. Uočavaju se povišene ^{14}C aktivnosti nakon proljetnog remonta 2009. godine, a u godini bez proljetnog remonta ^{14}C aktivnosti su slične onima u Dobovi.



Slika 4. Prostorna raspodjela $a^{14}C$ u bilju u okolici NEK u ljetnom uzorkovanju nakon proljetnog remonta (lijevo), te kad nema proljetnog remonta (desno).

5. Literatura

- [1] I. Krajcar Bronić, B. Obelić, N. Horvatinčić, J. Barešić, A. Sironić. ^{14}C aktivnost u okolišu: atmosfera i biosfera. *Arh Hig Rada Toksikol* 61 (2010) Suppl.: 81-88.
- [2] I. Krajcar Bronić, N. Horvatinčić, J. Barešić, B. Obelić. Measurement of ^{14}C activity by liquid scintillation counting. *Appl Radiat Isotop* 67 (2009) 800-804.
- [3] N. Horvatinčić, J. Barešić, I. Krajcar Bronić, B. Obelić B. Measurements of low ^{14}C activities in a liquid scintillation counter in the Zagreb Radiocarbon Laboratory. *Radiocarbon* 46 (2004) 105-116.
- [4] J. Barešić, I. Krajcar Bronić, N. Horvatinčić, B. Obelić. Mjerenje niskih ^{14}C aktivnosti uzoraka u obliku benzena u tekućinskom scintilacijskom brojaču. In: V. Garaj-Vrhovac, N. Kopjar and S. Miljanić S, eds. *Proc. 6th Symp. of the Croatian Radiation Protection Association*, pp. 158-163, Stubičke Toplice, Croatia, 18-20 April 2005. CRPA, Zagreb.
- [5] J. Barešić, I. Krajcar Bronić, N. Horvatinčić, B. Obelić. Mjerenje niskih ^{14}C aktivnosti uzoraka pripremljenih metodom apsorpcije CO_2 . *Proc. 5th Symp. of the Croatian Radiation Protection Association*, pp. 267-272, Stubičke Toplice, Croatia, 9-11 April 2003. CRPA, Zagreb.
- [6] ftp://ftp.cmdl.noaa.gov/ccg/co2/trends/co2_annmean_gl.txt
<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html> (provjera 22.02.2011.)
- [7] V. Stibilj, B. Svetek, Z. Trkov, A. Volčanšek, B. Breznik. Measurement of ^{14}C activity in exhaust air at the Krško Nuclear Power Plant. In: I. Krajcar Bronić, N. Kopjar, M. Milić and G. Branica, eds. *Proc. 8th Symp. of the Croatian Radiation Protection Association*, pp. 341-346, Krk, Croatia, 13-15 April 2011. CRPA, Zagreb.

ABSTRACT

^{14}C ACTIVITY IN THE ATMOSPHERE AND IN PLANT FROM THE VICINITY OF THE NUCLEAR POWER PLANT KRŠKO 2006 – 2010

**Ines KRAJCAR BRONIĆ¹, Bogomil OBELIĆ¹, Nada HORVATINČIĆ¹,
Andreja SIRONIĆ¹, Jadranka BAREŠIĆ¹, Anita RAJTARIĆ¹, Borut BREZNIK²
and Aleš VOLČANŠEK²**

- 1) *Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia, krajcar@irb.hr*
- 2) *Krško Nuclear Power Plant, Krško, Slovenia*

Monitoring ^{14}C activity in the atmospheric CO_2 and in biological samples (apples, corn, wheat and grass) in the close vicinity of the Krško Nuclear Power Plant (NPP) has been regularly performed since 2006 to estimate the possible influence of the plant on environmental ^{14}C levels. Atmospheric CO_2 was collected regularly every two months, while the biological samples were collected twice a year (in June/July and September/October) on several locations within a radius of about 1 km from the Krško NPP, as well as on the control point at Dobova, 12 km from the plant.

Increase of ^{14}C activity in atmospheric CO_2 was observed during and immediately after the refueling of the power plant, which has been performed every 18 months. ^{14}C activities in plants from the vicinity of NPP are always higher than those at the control point, and depend both on the distance from the exhaust of the plant ventilation system and on the prevailing wind direction. Higher ^{14}C activities measured in plants if the refueling was performed in spring, while autumn effluents did not significantly influence the ^{14}C activity in plants.