

# Atmosféra pod lupou: Radioaktivní otisky Země a vesmíru

V. Matějka<sup>1</sup>, A. Vachutková<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Střední škola Letecká Kunovice; matejekv@gmail.com

<sup>2</sup> Masarykovo gymnázium Příbor; vachutkova.anna@seznam.cz

Garant: Miroslav Hýža; SÚRO v.v.i.

## Abstrakt

Radionuklidy přítomné v ovzduší představují důležitou složku radiačního pozadí, jehož sledování je klíčové pro hodnocení stavu životního prostředí a ochranu obyvatelstva. Tyto radionuklidy pocházejí jak z přirozených zdrojů (kosmogenní a terestriální radionuklidy), tak z činnosti člověka (např. z jaderných havárií, průmyslu či zkoušek jaderných zbraní). V rámci tohoto projektu byla provedena analýza vzorků ovzduší s cílem stanovit množství a složení radionuklidů. K detekci a identifikaci radionuklidů byla použita metoda gamma spektrometrie, která umožňuje neinvazivní a přesné stanovení radionuklidů na základě jejich charakteristického gama záření. Výsledky měření poskytují přehled o aktuálním složení radionuklidů ve sledované oblasti a přispívají k dlouhodobému monitoringu radiační situace v atmosféře.

## 1 Úvod

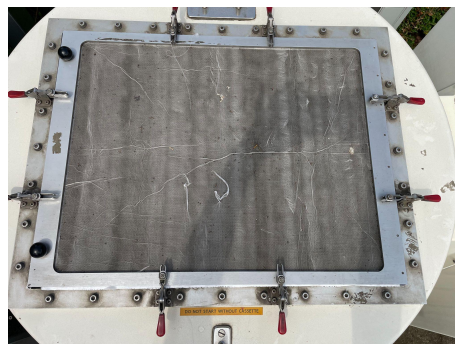
Radioaktivita je přirozeným jevem, který provází naši planetu od jejího vzniku. Je způsobena samovolným rozpadem nestabilních atomových jader, při kterém dochází k emisím ionizujícího záření. Toto záření má schopnost měnit strukturu hmoty, a proto je z hlediska životního prostředí i zdraví obyvatelstva předmětem dlouhodobého výzkumu a monitoringu. Radionuklidy přítomné v ovzduší mohou pocházet z různých zdrojů. Mezi přirozené zdroje patří kosmogenní radionuklidy, vznikající interakcí kosmického záření s atmosférou (např. **Be-7**, **Na-22**), a terestriální radionuklidy, vznikající jako dceřiné produkty v rámci přirozených rozpadových řad uranu a thoria (např. **Pb-212**, **Bi-214**). K antropogenním zdrojům patří především radionuklidy vzniklé při jaderných zkouškách, haváriích jaderných zařízení či při provozu jaderného průmyslu (např. **Cs-137**, **I-131**, **Sr-90**). Sledování složení a koncentrace radionuklidů v ovzduší je důležité z hlediska ochrany obyvatelstva a životního prostředí. Cílem tohoto projektu je seznámení se s problematikou gama spektrometrické analýzy atmosférických aerosolů a jejím využití v rámci Radiační monitorovací sítě ČR.

## 2 Materiály a metody

K odběru a přípravě vzorku atmosférických aerosolů jsme využili vysokoobjemové odběrové zařízení JL-900 Snow White (obr. 1); filtr FPM 1545 (obr. 2) a hydraulický lis Bernardo HWP 60. K měření dávkového příkonu byl využit radiometr RP-2000A. K samotné analýze jsme pak využili polovodičový detektor HPGe s relativní účinností na 1,33 MeV 100% a rozlišením 2,1 keV. Data z detektoru jsme vyhodnotili za pomoci softwaru Genie 2000. Se zpětným modelováním trajektorií jsme se seznámili v programu HYSPLIT.

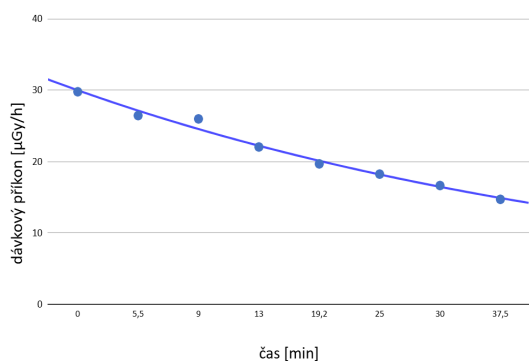


(1) Zařízení JL-900 Snow White

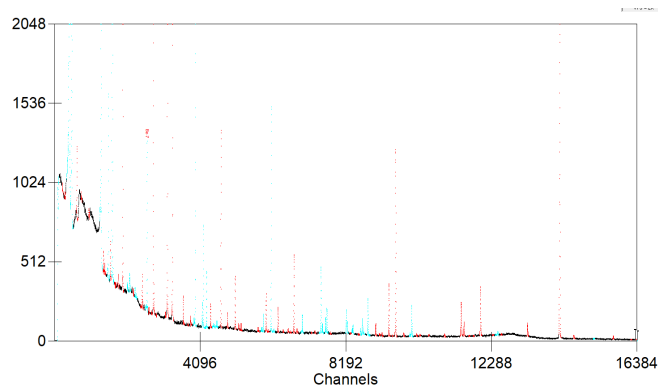


(2) Filtr FPM 1545

Samotné získávání vzorku probíhalo na zařízení JL-900 Snow White po dobu 74 hodin a celkový objem vzduchu prosátého přes filtr činil  $54\,333\text{ m}^3$ . Vzorek pro měření jsme připravili slisováním a řádným označením odebraného filtru. Na připraveném vzorku jsme nejprve pomocí radiometru RP-2000A ověřili přítomnost krátkodobých radionuklidů. Tyto radionuklidy vznikají jako dceřinné produkty rozpadu radonu ( $\text{Rn-222}$  a  $\text{Rn-220}$ ), který je v ovzduší přítomen v poměrně významném množství. Následná kvalitativní a kvantitativní analýza probíhala pomocí polovodičového detektor HPGe, kde proběhlo 4414 sekund dlouhé měření, jehož výsledkem bylo spektrum gama (obr. 3). V získaném spektru jsme se na základě energií jednotlivých píků pokusili identifikovat některé radionuklidy, jejichž přítomnost jsme očekávali.



(3) Graf poklesu dávkového příkonu



(4) Gama spektrum

### 3 Výsledky

Pro ověření přítomnosti krátkodobých dceřiných produktů (zejména Pb-214 a Bi-214) jsme v průběhu jedné hodiny pomocí radiometru RP-2000A zaznamenávali hodnoty dávkového příkonu, který se s časem snižuje na základě rovnice pro exponenciální pokles  $DP = DP_0 * e^{-\lambda * t}$ . Výsledkem měření je graf poklesu dávkového příkonu (obr. 3) a také odhad poločasu přeměny, který byl však v našem konkrétním případě vyšší než poločas Pb-214 nebo Bi-214, což je způsobeno přítomností dalších prvků, zejména Pb-212 a Bi-212.

Při kvalitativní analýze jsme podle našeho předpokladu ve spektru (obr. 4) zaznamenali kosmogenní radionuklid Be-7 a některé izotopy olova, jež jsou součástí rozpadových řad. V rozporu s naším očekáváním jsme ve spektru neodhalili přítomnost K-40, což bylo pravděpodobně způsobeno příliš krátkou dobou měření. Pro kvantitativní analýzu, která vyžaduje množství radionuklidu jako aktivitu jsme nadále využili pouze radionuklid Be-7. U izotopů olova jsme s ohledem na krátký poločas rozpadu kvantitativní analýzu neprováděli. K výpočtu aktivity jsme využili známý vzorec  $A = P / (t * \gamma * \epsilon(E) * V)$  kde  $P$  je celková plocha píku,  $t$  délka měření,  $\gamma$  výtěžek dané energetické linky,  $\epsilon(E)$  účinnost detektoru pro danou energii a  $V$  prosátý objem. Tímto výpočtem byla zjištěna objemová aktivita 4,247 mBq/m<sup>3</sup>. Veškeré námi zjištěné údaje byly pomocí vyhodnocovacího softwaru Genie 2000 (obr.5) vyhodnoceny jako odpovídající.

Hodnoty zjištěné výše zmíněným způsobem by, například při zjištění nadlimitních hodnot, bylo možné využít pro zpětné matematické modelování, které by na základě atmosférických údajů mohlo pomoci s odhadem šíření uniklé radioaktivní látky a přímo určit místo, kde k případnému úniku došlo. My jsme pro demonstrační účely využili hybridní jednočásticový Lagrangeův integrovaný trajektorový model HYSPLIT (obr.6). Na základě atmosférických dat dodaných do modelu jsme zjistili, že radionuklid Be-7 mohl do Prahy doputovat se severu.

```
*****
****  NUCLIDE IDENTIFICATION REPORT  ****
*****

Sample Title:      Týden vědy
Nuclide Library Used: W:\_CALFILES\Knihovny\N_233.nlb

.....  IDENTIFIED NUCLIDES  .....

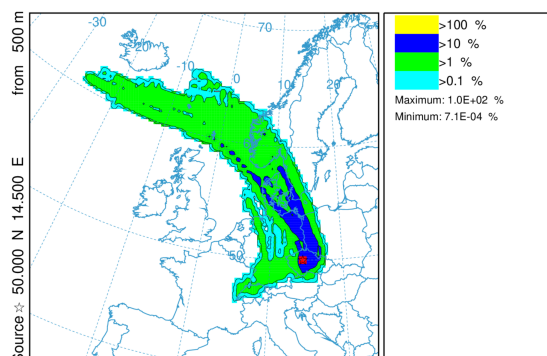
Nuclide  Id      Energy   Yield   Activity   Activity
Name     Confidence (keV)    (%)    (Bq /m3 )   Uncertainty

Be-7      0.924    477.60*    10.44    4.427325E-03  1.159788E-04

* = Energy line found in the spectrum.
@ = Energy line not used for Weighted Mean Activity
Energy Tolerance :    1.000 keV
Nuclide confidence index threshold =    0.30
Errors quoted at 1.000 sigma

☐Interference Corrected Activity Report      23.06.25 14:02:41      Page 51
```

(5) Nuclide report v Genie 2000



(6) Frekvenční distribuce zpětných trajektorií za 72h

## 6 Závěr

Provedená gama spektrometrická analýza vzorků ovzduší vedla k detekci kosmogenního radionuklidu Be-7 a některých izotopů olova z přirozených rozpadových řad. Vzhledem ke krátké době měření nebyl ve spektru detekován K-40, jehož přítomnost jsme původně očekávali. Kvantitativní analýza byla provedena pro Be-7, u něhož byla stanovena objemová aktivita 4,247 mBq/m<sup>3</sup>. U izotopů olova nebyla kvantitativní analýza vzhledem k jejich krátkému poločasu rozpadu realizována. Výsledky byly vyhodnoceny pomocí softwaru Genie 2000 a odpovídají očekávaným hodnotám pro danou lokalitu. V rámci projektu jsme se seznámili se základními principy spektrometrie gama, zejména pak v oblasti kvalitativní a kvantitativní analýzy radionuklidů v atmosférických aerosolech. Seznámili jsme se také s možnostmi zpětného modelování trajektorií úniků radioaktivních látek do ovzduší.

## 7 Poděkování

Především bychom chtěli poděkovat vedoucím našeho miniprojektu Miroslavu Hýžovi a Mahuleně Kořistkové za veškerou podporu při práci na našem projektu. Dále patří díky všem organizátorům Týdne vědy na Jaderce.

## 8 Reference

1. SÚRO, v.v.i. Monitorování radionuklidů v ovzduší. Státní ústav radiační ochrany.  
[Online] <https://www.suro.cz/cz/rms/ovzdusi>
2. SÚRO, v.v.i. Odběrové zařízení. Státní ústav radiační ochrany.  
[Online] <https://www.suro.cz/cz/rms/ovzdusi/odberove-zarizeni>
3. A. F. Stein, R. R. Draxler, G. D. Rolph, B. J. B. Stunder, M. D. Cohen, and F. Ngan NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System  
[Online] <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>