

Rozhledy matematicko-fyzikální

Vladimír Wagner

Detekce přítomnosti radionuklidů v atmosféře

Rozhledy matematicko-fyzikální, Vol. 92 (2017), No. 2, 10–22

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/146868>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2017

Institute of Mathematics of the Czech Academy of Sciences provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This document has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://dml.cz>

Detekce přítomnosti radionuklidů v atmosféře

Vladimír Wagner, ÚJF AV ČR Řež

Abstract. The article analyses the detection of radioactive iodine at trace levels in Europe in January 2017. Iodine-131 is radionuclide of anthropogenic origin. We discuss the methods of trace atmospheric radioactivity measurement. We estimate magnitude of radioactive leak and its possible source.

Úvod

V únoru 2017 se po internetu začala šířit informace, že detekční stanice v celé Evropě zaznamenaly v atmosféře stopy jódu 131. Poločas rozpadu tohoto radionuklidu je zhruba 8 dní, takže je jasné, že jde o umělý radionuklid a musel se dostat do ovzduší nedávno. Podobná událost se odehrála v září 2011. A řada radionuklidů byla v atmosféře zaznamenána také v souvislosti s havárií jaderné elektrárny ve Fukušimě I. Podívejme se, jak se reálně stopové obsahy radionuklidů v atmosféře měří a co se z těchto měření lze dozvědět.

Stopový obsah radionuklidu jódu 131 nad lednovou Evropou zachytily začátkem roku 2017 jen ty nejcitlivější evropské stanice, které měří obsah radioaktivních nuklidů v atmosféře. Než se podrobněji podíváme na to, co o této události víme, připomeňme si základní vlastnosti radioaktivity, a jak je můžeme popisovat.

Radioaktivita, její vlastnosti a zákonitosti, které ji popisují

Radioaktivita je vlastnost některých jader, ta se přeměňují a přitom vyzařují záření. Existují tři základní typy radioaktivních přeměn. Při rozpadu alfa se vyzáří částice alfa, což je heliové jádro, a mateřské jádro se přemění na dceřiné, které má o dva protony a dva neutrony méně. Druhým typem je přeměna beta, při ní se přemění jeden neutron v jádře na proton a vyzáří se elektron. Nebo se může přeměnit v jádře jeden proton na neutron. V tomto případě se vyzáří pozitron, nebo si jádro z atomového obalu zachytí elektron. Velice často vznikne dceřiné jádro přeměnou záření alfa nebo beta v excitovaném stavu. Má tak přebytečnou energii, které se zbaví vyzářením záření gama. Pak mluvíme o přeměně gama.

Jádro je mikroskopický objekt, který má kvantové vlastnosti. A jednou z těchto vlastností je i to, že vyzařovat záření gama může jen po

kvantech s diskrétní a přesně danou hodnotou energie. Každý radionuklid, u kterého je radioaktivita gama, vyzařuje záření se specifickými hodnotami energie. Vyzařované záření gama tak je takovým otiskem prstu daného radionuklidu a umožňuje jej identifikovat i v extrémně malém množství. Připomeňme, že energie gama záření se nejčastěji vyjadřuje v jednotkách kiloelektronvolt (keV). Jeden elektronvolt je energie, kterou získá objekt s nábojem jednoho elektronu při průchodu napětím jeden volt. V jednotkách SI je $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Kvantová fyzika je nutná i pro popis průběhu přeměny radioaktivních jader. U jednotlivého konkrétního nestabilního jádra nemůžeme říci, kdy se rozpadne. Známe jen pravděpodobnost, že se dané jádro rozpadne za časovou jednotku. Tato veličina se označuje jako rozpadová konstanta λ . Jednotkou této veličiny je s^{-1} .

Důležitou veličinou, která popisuje chování radioaktivních látek, je aktivita A , která určuje počet přeměn za časovou jednotku. Jednotkou této veličiny je becquerel, $\text{Bq} = \text{s}^{-1}$. Tato jednotka, která znamená jednu přeměnu jádra za sekundu, je poměrně malá. V praxi se tak u využívaných radioaktivních zdrojů, třeba pro kalibraci detektorů či v medicíně, setkáváme s jejími násobky, tedy kilobecquerely (kBq), megabecquerely (MBq) a gigabecquerely (GBq). V našem článku se budeme spíše zabývat extrémně nízkými aktivitami, které se udávají v milibecquerelech (mBq) a mikrobecquerelech (μBq).

Pokud známe počet radioaktivních jader N ve vzorku, můžeme spočítat aktivitu tohoto vzorku. Počet jader, které se rozpadnou za časovou jednotku, je totiž součinem pravděpodobnosti rozpadu jednoho jádra za časovou jednotku a počtu jader:

$$A = \lambda N$$

Podívejme se, jak se bude měnit počet jader s časem. Musíme pracovat s co nejkratším časovým intervalem dt . Za tento limitní časový okamžik je také minimální změna počtu jader dN , která je zanedbatelná vůči celkovému počtu jader. Počet přeměněných jader za časovou jednotku je dán součinem rozpadové konstanty a počtu jader. Celkový počet jader přeměněných za časový okamžik pak dostaneme vynásobením časovým intervalem dt , tj.

$$dN = -\lambda N dt,$$

kde záporné znaménko vyjadřuje to, že jde o úbytek jader.

Vyřešíme diferenciální rovnici

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt,$$

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt,$$

kde N_0 je počet jader v čase $t = 0$ a N v čase t . Provedeme integraci

$$\ln N - \ln N_0 = -\lambda t,$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t,$$

odkud

$$N = N_0 e^{-\lambda t}.$$

Pokles počtu jader tak probíhá podle exponenciální zákonitosti. Když vezmeme v úvahu vztah mezi aktivitou a počtem jader, platí stejná zákonitost i pro aktivitu:

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

Veličinou, která může charakterizovat rozpad daného radionuklidu, tak může být doba, za kterou se rozpadne polovina jader vzorku, tzv. poločas rozpadu $T_{1/2}$. Pro ni platí

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}},$$

odkud

$$\ln \frac{1}{2} = -\lambda T_{1/2},$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}.$$

Pokles aktivity v čase pak můžeme popsat i pomocí poločasu rozpadu:

$$A = A_0 e^{-\frac{t \cdot \ln 2}{T_{1/2}}}$$

Stačí tak jen několik poločasů rozpadu a aktivita dramaticky poklesne a dostává se pod hranici citlivosti dostupných měřicích technik.

Zdroje radioaktivity na Zemi

Na Zemi máme dva přírodní zdroje radioaktivity. Prvním jsou radionuklidy s dlouhým poločasem rozpadu, které byly vytvořeny ve hvězdách, převážně při výbuchu supernov, a dochovaly se od počátku vzniku Sluneční soustavy. Jedná se o těžká jádra uranu 235 a 238 a thorium 232. A také radionuklidy, které průběžně vznikají v rozpadových řadách začínajících u zmíněných jader a končících u různých stabilních izotopů olova. Od počátku Sluneční soustavy je zde i izotop draslík 40. Draslík je biogenní prvek a je součástí našich těl. Záření gama s jeho charakteristickou energií 1 460,8 keV tak vyzařuje každý z nás.

Další přirozené radionuklidy vznikají interakcí vysokoenergetického kosmického záření s jádry v atmosféře. V atmosféře jsou většinou lehké prvky, a tak se také produkují i lehčí radionuklidy. Tak vzniká známý radioizotop uhlík 14. Ten je také součástí živých organismů a využívá se k radiouhlíkovému datování. Dalším vznikajícím radionuklidem je tritium nebo beryllium 7. Zmíněné radionuklidy tvoří přirozené radioaktivní pozadí a jsou přítomné a identifikovatelné i v atmosféře.

Měření radionuklidů v atmosféře

Pokud zachytíme záření gama z radionuklidu, jehož poločas je krátký a nevyskytuje se v rozpadových řadách přírodních radionuklidů, je jasné, že jde o radionuklid umělý a do atmosféry se dostal nedávno. Lze tak zjistit, zda někdo neudělal tajné testy jaderných zbraní nebo někde, třeba i na druhém konci světa, nedošlo k nějaké jaderné havárii.

Právě proto jsou nejen v Evropě sítě měřících stanic, které se snaží zjišťovat radioaktivitu v atmosféře. Stanice prohánějí velké objemy atmosférického vzduchu přes filtry, jejichž aktivitu pak měří. A protože měří spektrum vyzařovaného gama záření, mohou identifikovat a zjistit množství jednotlivých radionuklidů. Filtry zachytí pouze aerosoly a prach. Pokud chceme studovat plynné složky, jako například plynný jód, musíme použít místo filtru například patrony s aktivním uhlím. Jejich kapacita však bývá až řádově menší.

Zmiňované stopy jódu zaznamenaly jen ty nejcitlivější měřící stanice, kterých je v Evropě pouze několik. Ty dokáží filtrovat vzduch v objemu až 900 krychlových metrů za hodinu. To provádějí i řadu dní. Potom se příslušné filtry vyjmou a pomocí velice citlivých detektorů záření gama se zase řadu hodin měří jejich radioaktivita. Pomocí jednotlivých linek záření gama se podle jejich energií identifikují zdrojové radionuklidy.

Jaké jsou problémy s měřením tak nízkých aktivit v atmosféře?

U nás tyto odběry v síti měřících míst kontaminace ovzduší zajišťuje několik organizací, jednou z nejdůležitějších je Státní ústav radiální ochrany (SÚRO), https://www.suro.cz/cz/index_html. V síti je deset odběrných míst (obr. 1, 2) s možností čerpání podle velikosti od 40 do zmíněných 900 m³/h. A právě to největší naměřilo zmiňovaný jód.



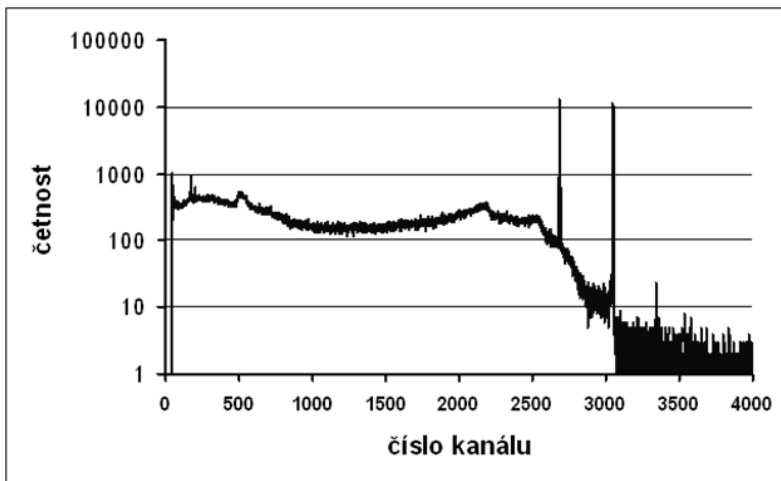
Obr. 1: Umístění dvou odběrných zařízení – jsou to ty dvě bílé kopule (zdroj SÚRO)



Obr. 2: Výměna aerosolového filtru (zdroj SÚRO)

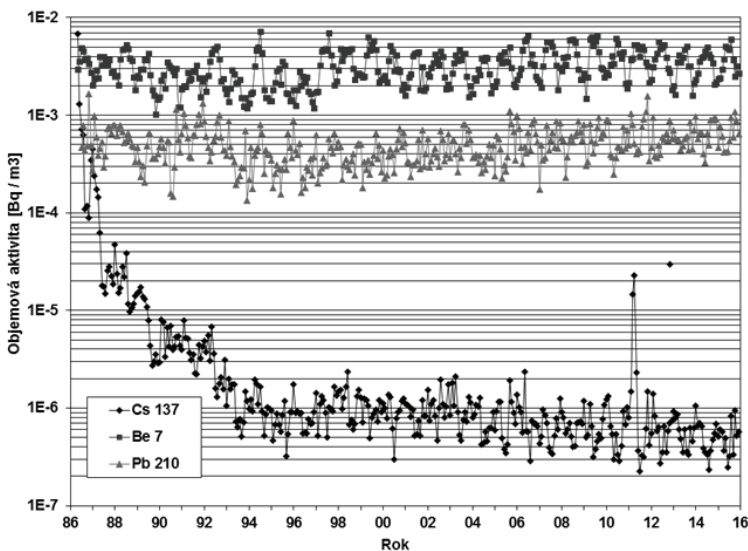
Pokud jsou to radionuklidy antropogenního původu s krátkým poločasem rozpadu a stabilně se v atmosféře nevyskytují, tak je lze zjistit i v extrémně malém množství. Je to podobné tomu, kdyby si někdo v Kralupech vykouřil cigaretu a měřením v Praze bychom to zjistili. To by šlo v případě, že by při tom kouření vznikaly atomy či molekuly, které jinak neexistují, a dokázali bychom zachytit a přesně identifikovat jednotlivé tyto atomy či molekuly. To je možné u umělých radionuklidů, ale ne u atomů a molekul vznikajících při spalování tabáku. Ty vznikají v celé řadě procesů a i při nepříliš velkém zředění stopy cigaretového kouře zmizí na pozadí obrovského množství stejných atomů a molekul produkovaných v jiných procesech.

Problémem, který zhoršuje možnost identifikace co nejmenšího množství radionuklidů, je i to, že ne vždy se veškerá energie fotonu gama pohltí v detektoru. Neúplné detekce vytváří ve spektru gama pozadí, které může skrýt slabé intenzity radionuklidů, které mají nižší energii vyzařovaného záření gama (obr. 3). Citlivost měření tak závisí i na pozadí, které ve spektru vytváří přirozené i umělé radionuklidy v atmosféře.



Obr. 3: Spektrum záření gama radionuklidu kobalt 60 v polovodičovém detektoru; kromě dvou linek s energií 1 173 keV a 1 332 keV (v daném spektru zhruba na kanále 2 600 a 3 100) je tam i pozadí vytvořené fotony, které nepředaly veškerou energii v detektoru; pokud existují intenzivní linky s vysokou energií, může pozadí od nich zhoršovat možnost identifikace linek jiných radionuklidů s nižší energií gama

Pravidelně se měří radionuklidy vznikající interakcí kosmického záření v atmosféře (například beryllium 7), v rozpadech radonu vznikajícího v rozpadové řadě uranu (olovo 210) a dlouhodobější radionuklidy umělého původu z testu jaderných zbraní či havárií jaderných zařízení (cesium 137). Na grafech měření těchto radionuklidů z let 1986 až 2016 je vidět u cesia 137 vliv havárie v Černobylu i ve Fukušimě (obr. 4).



Obr. 4: Měsíční měření objemové aktivity cesia 137, která je dána přísunem z vyšších vrstev atmosféry z globálního spadu zkoušek jaderných zbraní, jen část pochází z havárie JE Černobyl; současná hodnota je cca $1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$; beryllium 7 je kosmogenního původu; průměrná hodnota objemové aktivity je okolo $3\,000 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$; radionuklid olovo 210 je produktem přeměny radonu; průměrná dlouhodobá hodnota činí přibližně $500 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ (zdroj SÚRO)

Co se naměřilo?

Síť stanic, která dokáže filtrovat zmíněné extrémní objemy vzduchu, zaznamenala v druhém až čtvrtém týdnu ledna velmi slabé stopy jódu 131. Hodnota měrné aktivity byla téměř všude menší než $0,5$ mikrobecquerelů na metr krychlový ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$). Jen v Polsku se naměřila hodnota o řád větší. Stanice naměřily pouze jód 131 a žádný jiný umělý radionuklid s krátkým poločasem rozpadu. To naznačuje, že zdrojem pravděpodobně nebyla jaderná havárie.

Při ní vznikají různé radionuklidy. Jaké to jsou a v jakém množství se uvolní, závisí na typu zařízení, jak dlouho bylo v provozu a jak dlouho je po jeho odstavení. Jejich těkavost a podmínky havárie ovlivní uvolněné množství různých radionuklidů. Při detekci je důležitá schopnost detekčního záření zachycovat právě konkrétní prvek a pak, jestli a jaké záření gama vyzařuje daný radionuklid. V našem případě, kdy byla měření jódu 131 na hranici měřitelnosti, je možné, že zrovna jód 131 byl jediný radionuklid, který byl dosažitelný. Ovšem přinejmenším měření v Polsku by mělo v případě havárie jaderného zařízení nebo testu jader-
ných zbraní zachytit další radionuklidy.

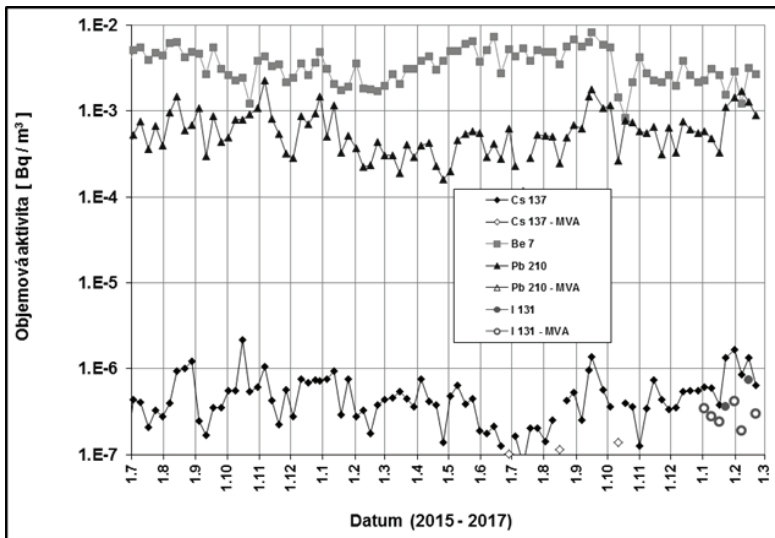
Je třeba připomenout, že zaznamenán byl pouze jód ve formě aerosolu, který mohou zachytit filtry. Plynný jód se také sleduje. Zařízení využívá pro jeho zachycení aktivní uhlík, ovšem jeho citlivost je řádově nižší. Plynný jód sice dominuje, ale jeho množství je jen třikrát až pětkrát větší než jódu ve formě aerosolu. Nebyla tak šance jej detekovat.

To, že šlo o hodnoty na hranici citlivosti těch nejvýkonnějších měřících stanic, lze dokumentovat na pražském měření. V grafu, který zobrazuje měření jódu, je vidět, že hranice citlivosti v případě, že se nic nezměřilo, je v blízkosti dvou hodnot, kdy bylo měření jódu pozitivní. Pokud by takové měření bylo pouze v jedné stanici, například té pražské, tak by to mohla být statistická fluktuace na pozadí ve spektru gama v místě, kde by měla být energie záření gama jódu. V tom případě by nešlo o reálný výskyt tohoto radionuklidu. Mohlo by také jít o slabý signál z toho, že v pražských nemocnicích zrovna měli větší počet pacientů, kteří byli vyšetřováni nebo léčeni jódem. Jód se z jejich těla následně uvolňuje, dostane se do atmosféry a zachytí ve filtrech zařízení (obr. 5). I to se někdy stane.

Jód 131 se totiž využívá k terapeutickým účelům, hlavně při poruchách štítné žlázy. V štítné žláze se hromadí a v případě nadprodukce hormonů v štítné žláze jí část pomůže zničit. Využívá se také v lékařské diagnostice. Měřením záření gama lze zjistit, jak se jód 131 v různých sloučeninách pohybuje v těle a kde se ukládá. Proto se pro nemocnice produkuje v několika laboratořích v Evropě. Většinou tak záznamy stanice ukáží problém s filtrováním jódu v některém z takových zařízení. To se stalo například v listopadu 2011, kdy unikl jód 131 z maďarského závodu pro výrobu izotopů, který jej připravuje pro maďarské nemocnice. Jako první zachytila tento únik právě Česká republika [1].

To, že zaznamenala jód 131 řada evropských stanic na rozsáhlém území, vylučuje, že by šlo o statistickou fluktuaci nebo jód z aplikace

pacientům v některé blízké nemocnici. Jako první jej zaznamenaly stanice na severovýchodě, v severonorském Svanhovdu a v Rovaniemi ve finském Laponsku. Největší objemovou aktivitu naměřili v Polsku. Právě tyto skutečnosti by mohly naznačovat, že zdroj jódu je spíše na východě Evropy.



Obr. 5: Týdenní měření objemových aktivit v posledních dvou letech; je zde vyznačeno i měření jódu; prázdná kolečka ukazují pouze limit citlivosti, tedy v tomto období se žádný jód neměřil, byl pod citlivostí přístroje; reálná měření jsou pouze plné body, a ta jsou na hranici citlivosti (zdroj SÚRO)

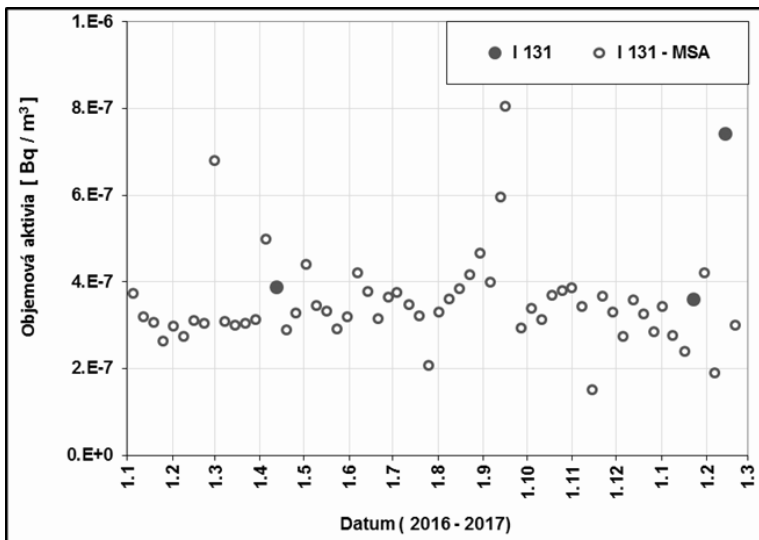
Častou otázkou v diskuzích pod články o této události je, proč se o jódu, který se vyskytl v lednu, referovalo až v únoru. Vysvětlení je dáno právě povahou měření. Celý cyklus měření trvá řadu dnů i týdny. Teprve pak lze získat hodnotu měrné aktivity. Navíc byly hodnoty extrémně nízké a na hranici citlivosti měřícího zařízení. Mohl to tak být i falešný signál způsobený statistickou fluktuací ve spektru záření gama. Teprve když zjistily stopy jódu 131 i další stanice v Evropě, bylo jasné, že jde o jeho reálný výskyt.

Co se tedy reálně ví?

V lednu byly po celé Evropě zaznamenány v atmosféře stopy jódu 131. Naměřené hodnoty objemové aktivity jsou extrémně nízké. Kromě sta-

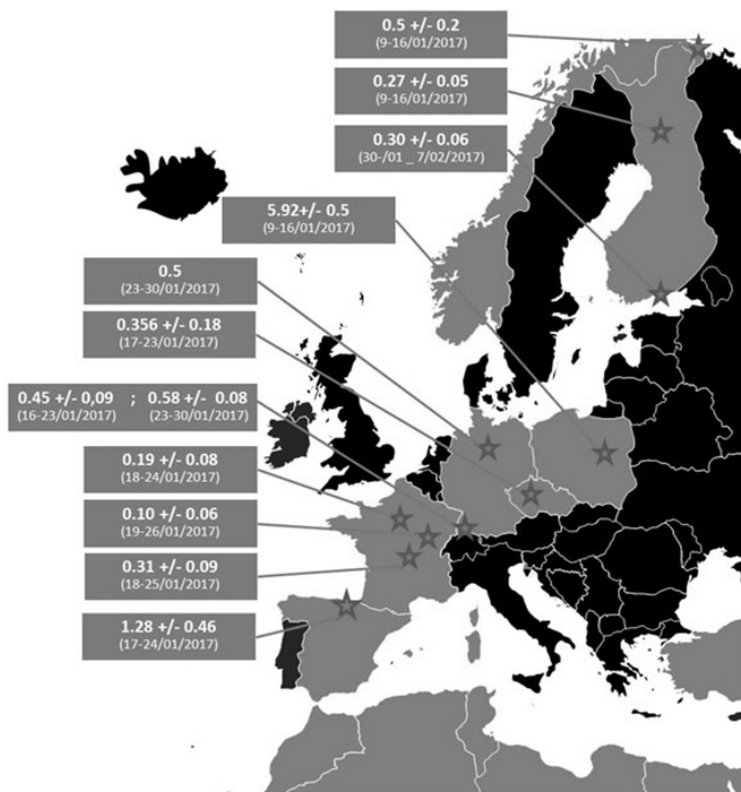
nice v Polsku jsou nižší než 0,5 mikrobecquerelů na metr krychlový. Rozložení je vidět z mapy a vyznačených hodnot měření francouzské organizace IRSN (viz <http://www.irsn.fr/EN/Pages/home.aspx>). Jak bylo zmíněno, filtry v měřicích zařízeních zachycují pouze radioaktivní jód obsažený v aerosolech, ne ten v plynné podobě. Toho bývá zhruba tři až pětkrát více. Reálná objemová aktivita tak mohla být zhruba do 3 mikrobecquerelů na metr krychlový. To je hodnota extrémně nízká a o mnoho řádů nižší než taková, která by mohla mít nějaké dopady.

Časový průběh a záznam vyšší objemové aktivity v Polsku naznačuje, že zdroj by mohl být spíše na východě Evropy. Připomeňme, že na Slovensku, v Estonsku, Litvě a Lotyšsku žádná dostatečně citlivá měřicí stanice není. To je i odpověď na časté dotazy v internetových diskuzích, proč se tam nic nenaměřilo (obr. 6). Upřesnění by v principu mohly poskytnout stanice v Rusku. Je však třeba zdůraznit, že možnost a čas detekce jsou kromě polohy zdroje velmi silně ovlivněny i atmosférickou situací, hlavně směrem a silou větrů.



tickém provozu, který produkuje jód 131 pro medicínské aplikace. To, že nejde o test jaderných zbraní či havárii jaderného zařízení, ukazuje i to, že žádné známky takové události nezaznamenala ani síť stanic pro kontrolu zákazu testů jaderných zbraní (viz <https://www.ctbto.org/>), která se na oblast Ruska zaměřuje. Je však třeba poznamenat, že vzhledem k zaměření těchto stanic je jejich způsob měření jiný a citlivost nižší než u stanic, které zaznamenaly jód 131 v Evropě.

Měření potvrdilo excelentní citlivost evropské měřicí sítě, která je schopna zaznamenat i extrémně slabé stopy aktivity v atmosféře (obr. 7). Pražská stanice a celá česká síť patří k těm nejlepším.



Obr. 7: Rozložení měřících stanic v Evropě a naměřené hodnoty jódu 131 (zdroj <http://www.irsns.fr/EN/Pages/home.aspx>)

Jaké množství jódu 131 uniklo a odkud asi pocházel?

Zkusme si udělat představu, jaká aktivita a jaké množství jódu 131 muselo uniknout. Předem upozorňuji, že půjde o velmi zjednodušené odhady, které nám však umožní udělat si kvalitativní představu o situaci. Předpokládejme, že zaznamenaná hodnota objemové aktivity ve formě aerosolu byla zhruba $0,3 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Pokud vezmeme v úvahu, že dominovala složka plynná a byla zhruba čtyřikrát větší, tak celková objemová aktivita byla $1,2 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Rozloha Evropy je zhruba 10 milionů kilometrů čtverečných. Předpokládejme, že se uvolněné radioaktivní látky rozptýlily rovnoměrně na takové rozloze a do výšky zhruba jeden kilometr. Objem vzdušné masy je tak 10 milionů kilometrů krychlových, což je 10^{16}m^3 . Spočteme celkovou aktivitu v tomto objemu, ta je $1,2 \cdot 10^{10} \text{Bq} = 12 \text{GBq}$.

Musíme však počítat s tím, že nějakou dobu trvalo, než se jód 131 rozšířil po Evropě a pak také se po jistou dobu vzduch filtroval. Doba šíření i výška vrstvy zasažené kontaminací silně závisí na počasí. A je třeba zmínit, že počasí ve velké části ledna a zvláště v jeho druhém týdnu bylo dost specifické a poznamenané inverzí. Předpokládejme, že celkově bude doba šíření zhruba deset dní. V tom případě původní aktivita, která po 10 dnech klesla na zmíněných 12 GBq, jestliže poločas rozpadu jódu 131 je 8,02 dne, byla

$$A_0 = A e^{\frac{t \cdot \ln 2}{T_{1/2}}} = 12 \cdot e^{\frac{10 \cdot \ln 2}{8,02}} \doteq 28 \text{GBq}.$$

Vychází nám tak, že uvolněná aktivita byla v tomto případě zhruba okolo 28 GBq. Připomeňme, že terapeutické aplikace jódu 131 jsou až v řádu GBq na dávku pro jednoho pacienta. Například při léčení složitých hyperthyreóz (nadměrná funkce štítné žlázy) může jít až o 5 GBq (viz <https://farmaceutika.info/sodium-iodide-i-131-injection>). Námi vypočtená aktivita tak odpovídá několika terapeutickým dávkám. V nemocnicích jsou pacienti při tomto léčení v uzavřených odděleních, takže se radionuklid vyloučený v moči nebo stolici dostává do vymíracích nádrží. Únik do životního prostředí je tak silně omezen. Zjištěná hodnota aktivity tak spíše naznačuje, že jde pravděpodobně o únik z podniku, který toto radiofarmakum připravuje, jako se to stalo v Maďarsku v listopadu 2011.

Zajímavou otázkou může být, jaká je hmotnost jódu se zmíněnou aktivitou. Ze vztahu mezi aktivitou a počtem jader dostáváme v našem

případě

$$N = \frac{A}{\lambda} = \frac{A \cdot T_{1/2}}{\ln 2} = \frac{28 \cdot 10^9 \cdot 8,02 \cdot 24 \cdot 3600}{\ln 2} \doteq 2,8 \cdot 10^{16}.$$

Pomocí relativní atomové hmotnosti A_r jódu 131, atomové hmotnostní jednotky u a počtu jader N určíme celkovou hmotnost m uniklého jódu.

Číselně ($A_r = 130,906$, $u = 1,66 \cdot 10^{-27}$ kg):

$$m = 2,8 \cdot 10^{16} \cdot 130,906 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \doteq 6,1 \cdot 10^{-9} \text{ kg} = 6,1 \text{ } \mu\text{g}$$

Celkově se podle odhadu uvolnilo do atmosféry něco kolem 28 GBq aktivity, což reprezentuje zhruba 6,1 μg jódu 131. Je třeba zdůraznit, že jde jen o velmi zjednodušené odhady, které nám umožňují udělat si kvalitativní představu o velikosti úniku, ale jejich přesnost je jen omezená.

Závěr

Během ledna zachytily stanice, které filtrují obrovská kvanta vzduchu a zjišťují jeho měrnou aktivitu, stopy radionuklidu jódu 131. Jeho poločas rozpadu je osm dní, a je tak jasné, že je umělého původu. Žádné další emise umělých radionuklidů zaznamenány nebyly. Je tak jasné, že zdrojem emisí není havárie jaderného reaktoru nebo jiného jaderného zařízení. Nejpravděpodobnějším důvodem je tak emise ze zařízení produkujícího jód 131 pro lékařskou diagnostiku a terapii.

Ze změřené objemové aktivity zhruba 0,3 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ se jednoduchým odhadem získá přibližná hodnota uvolněné aktivity řádově okolo 30 GBq, což reprezentuje zhruba 6 μg tohoto radionuklidu. Jedná se o velikost aktivity, která je v řádu hodnot obvyklých při výrobě pro terapeutické a diagnostické účely. Při výpočtu jsme použili řadu velice zjednodušujících předpokladů, i samotná měření mají značnou nejistotu, proto jsou získané hodnoty pouze přibližné. I tak však umožňují získat velice dobrou představu o velikosti kontaminace a jejího rozsahu.

Literatura

- [1] European iodine mystery solved. *World Nuclear News* (2011), World Nuclear Association, London, http://www.world-nuclear-news.org/RS_European_iodine_mystery_solved_1711112.html.