

# Měření kosmického záření Dozimetrie posádek letadel

Rastislav Blaho<sup>1</sup>, Ondřej Knopp<sup>2</sup>, Lukáš Melcher<sup>3</sup>, Jan Pokorný<sup>4</sup>, and  
Borek Požár<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Piaristické gymnázium Jozefa Braneckého, Trenčín –  
rastislavblaho1997@gmail.com

<sup>2</sup>Gymnázium Třeboň na Sadech 308, Třeboň – knoppkozich@seznam.cz

<sup>3</sup>GCHD, Praha – lmelcher1@gmail.com

<sup>4</sup>Gymnázium a OA Bučovice, Bučovice – jmenujusepopcorn@usa.com

<sup>5</sup>Gymnázium Zmíkunda Wintra, Rakovník – pozar.borek@gmail.com

21. 6. 2016

## Abstrakt

V České republice a také ve většině států na světě existuje nějaké omezení pro piloty dopravních letadel, kteří se dlouhodobě nacházejí v letové výšce nad 8 km nad mořem. Hlavním důvodem jsou právě nechtěné účinky ionizačního záření, jenž je v těchto oblastech vůči podmínkám v nízkých nadmořských výškách řádově větší. To vše je hlavně způsobeno existencí silného kosmického záření, které je však většinou pohlceno naší atmosférou. V této práci jsme se pokusili zjistit, zda-li by takové nařízení mělo platit i pro piloty sportovních letadel, která se nacházejí výrazně pod výše zmíněnou letovou výškou.

## Objev kosmického záření

Na samém počátku 20. století narazili tehdejší vědci na zajímavý úkaz a to vybíjení tehdejších pozlacených elektroskopů. Tento jev byl objasněn díky vodivosti vzduchu, která je možná díky nezneutralizovaným iontům. Ty vznikají při reakcích právě ionizačního záření se vzduchem. Již v této době se o takovém záření vědělo a za jeho zdroj byla považována Země. To platilo až do roku 1910, kdy Theodor Wulf vylezl s elektroskopem na vrchol Eiffellovy věže, kde naměřil přibližně poloviční koncentraci iontů na metr čvereční ve vzduchu než při povrchu. Dle tehdejších předpokladů měla však koncentrace iontů ve vzduchu klesat mnohem rychleji, hledal se tedy nový zdroj záření. Toto záření pak v roce 1913 naměřil Victor Hess při jeho letech balónem do výšek až 5 km. Nejenže při výstupu do výšek vyšších než byla Eiffelova věž (300 m.n.m.) klesala koncentrace iontů stále pomalu, ale od výšek již 800 m.n.m. začala jejich koncentrace stoupat a to exponenciálně.

Hessova měření pak potvrdil Robert Millikan v roce 1924, který na jejich měření již použil bezpilotní balóný nesoucí elektroskopy zaznamenávající na film. Po ujištění těchto výsledků se usoudilo, že vskutku existuje nějaké záření mimozemského původu a

Millikan sám jej nazval kosmické záření. Ve zbytku 20. století se studovalo jeho složení, původ, trajektorie, kterými se díky magnetickým polím dostávají k Zemi a jeho interakce s naší atmosférou. Taková pozorování vedla k objevování nových exotických částic, která při takových interakcích vznikají. Objev kosmického záření se tak stal počátkem fyziky elementárních částic.

## Složení kosmického záření

Jak již bylo zmíněno kosmické záření interaguje se samotnou zemskou. Primární kosmické záření vzniká mimo zemskou atmosféru. U primárního záření můžeme rozlišovat tok přicházející od Slunce, tedy sluneční korpuskulární záření, a tok vysokoenergetických částic pocházející z míst mimo Sluneční soustavu. Co se týče složení, cca 98% tvoří protony a alfa částice a cca 2% tvoří beta částice, antiprotony a jádra známých prvků. Během průchodu částic primárního záření atmosférou dochází k interakci s ní a výsledkem je tzv. sekundární záření.

To je pro náš projekt významnější. Je tvořeno neutrony, piony, miony, pozitrony a malým množstvím vysokoenergetických protonů. Všechny tyto částice můžeme taktéž rozdělit na měkkou a tvrdou složku sekundárního kosmického záření. Ještě zmíníme nejzajímavější částice tvrdé složky. Zaprvé miony, jejichž energie dosahují až 600 MeV, pronikají hluboko do atmosféry a jsou tedy detekovatelné i na zemském povrchu. Zadruhé neutrony, které vzhledem k větší detekovatelné i na zemském povrchu. Zadruhé neutrony, které vzhledem k větší hmotnosti, a tedy i energii, mají na lidské tělo větší vliv než ostatní částice.

## Šíření kosmického záření

Kosmické korpuskulární záření, respektive některé jeho složky, jsou nebezpečné pro lidský organismus. Naštěstí je velká část odstíněna geomagnetickým polem Země. To se chová jako zrcadlo, takže většinu částic pohybujících se směrem k Zemi vychýlí z jejich původní trajektorie. Siločáry geomagnetického pole tvoří Van Allenovy radiační pásy, které obklopují Zemi. Tento fyzikální jev je velmi významný z pohledu polární záře, částice dopadající směrem k jednomu ze dvou magnetických pólů Země nejsou odstíněné, takže pokud mají dostatečně vysokou energii, dokážou excitovat atomy v Zemské atmosféře. Následná deexcitace je zdrojem fotonů s určitou vlnovou délkou, která tvoří efekt polární záře.

## Veličiny ochrany před zářením

Při měření vlivu působení kosmického záření na člověka zavádíme veličiny charakterizující interakci ionizujícího záření s hmotou.

Absorbovaná dávka  $D$  je definovaná jako podíl střední sdělené energie  $d\bar{\epsilon}$  předané ionizujícím zářením látce o hmotnosti  $dm$  v malém prostoru.

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm}.$$

Jednotkou absorbované dávky je Gray a značí se  $[D] = 1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

Efektivní dávka  $E$  je veličina, která přímo popisuje účinek záření na lidské organismus. Je definována jako suma součinů průměrných hodnot dávek absorbovaných určitým orgánem či tkání  $D_T$ , kde dolní index  $T$  značí konkrétní orgán, a radiačních váhových

faktorů  $w_R$ , které se liší pro různé druhy záření a dolní index  $R$  zde značí právě druh záření, tedy

$$E = \sum_T \sum_R w_R \cdot D_T.$$

Jednotkou efektivní dávky je Sievert  $[H] = 1 \text{ Sv}$ .

Efektivní dávka se nedá opravdu měřit, proto se definuje prostorový dávkový ekvivalent  $H^*(10)$ . Ten udává efektivní dávku způsobenou zářením v kouli aproximující lidské tělo (standartní ICRU = norma) v hloubce 10 mm tkáně. Pro námi použitý detektor Liulin se tato hodnota počítá jako

$$H^*(10) = k_{\text{low}} D_{\text{low}} + k_{\text{neut}} D_{\text{neut}},$$

kde  $D_{\text{low}}$  je celková deponovaná dávka nízkoenergetických částic. Nízkoenergetické částice jsou ty, které v detektoru zanechaly energii menší než 1 MeV, naopak  $D_{\text{neut}}$  je celková dávka, kterou tam zanechaly částice, které samotné v detektoru zanechaly energii větší než 1 MeV. Ve většině případů jde o neutrony. Nakonec koeficienty  $k_{\text{low}} = 1,22$  a  $k_{\text{neut}} = 6,18$ , které převádí absorbovanou dávku na prostorový dávkový ekvivalent.

## Detector Liulin

Jde o aktivní polovodičový detektor právě pro měření radiační zátěže. Původně byli detektory Liulin vyvíjeny na měření radiační zátěže na palubě kosmických lodí. Dnes hlavně slouží na měření radiační zátěže na palubě letadel a u stínění urychlovačů.

Jak už bylo zmíněno jde o aktivní polovodičový detektor. To znamená, že se v něm nachází aktivní objem křemíku, který zde funguje jako fotodioda pro vysoko energetické částice. Při zachycení v detektoru pracuje jako aktivní objem křemíková fotodioda o hmotnosti  $m_{\text{Si}} = 1,398 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$ . Při zachycení částice detektor

## Popis měření

Při měření kosmického záření jsme použili polovodičový detektor Liulin. Fotodioda zapojená v závěrném směru detekuje energii  $\bar{\epsilon}$  dopadajícího záření. Podle energie se v detektoru třídí dopady částic a jejich počet se zaznamenává do jednoho z 256 kanálů. Detektor je zkalibrován tak, že šířka jednoho kanálu je 81,3 keV. Zjistili jsme, kolik kterých částic s danou energií jsme zaznamenali pomocí detektoru a následně určili celkovou deponovanou energii v objemu detektoru.

Další veličinou, kterou jsme určovali, byla absorbovaná dávka  $D$ . Ta se spočítá jako celková deponovaná energie částic v detektoru ku celkové hmotnosti křemíkové části detektoru, který právě zachytává částice. Hmotnost křemíku v detektoru Liulin je výrobcem udaných  $m_{\text{Si}} = 1,398 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$ .

Dvojice těchto detektorů byla podrobena dvěma letům do výšky cca 4,6 km společně s pilotem letadla L-410 a skupinou parašutistů.

## Výsledky

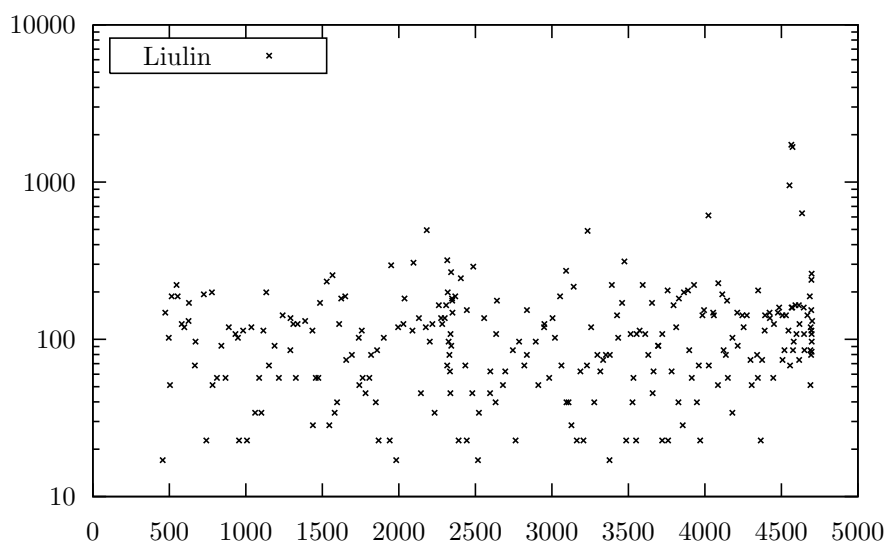
Z detektorů jsme získali data počtu částic z různých energetických kanálů. Z těchto dat jsme byli schopni spočítat prostorový dávkový ekvivalent, který detektory zaznamenaly za každý let. Po jejich zprůměrování jsme dosáhli prostorového dávkového ekvivalentu

za průměrný let Pilot sportovního letadla za jeden měsíc absolvuje asi 300 letů. Při neopatrné extrapolaci tohoto průměrného prostorového dávkového ekvivalentu na celý rok zjistíme, že takový pilot za rok pouze při svých letech dostane efektivní dávku vyjádřenou ročním prostorovým dávkovým ekvivalentem

$$\dot{H}^*(10) = 0,482 \text{ mSv/y}.$$

Tato hodnota je zhruba poloviční oproti hodnotě, při níž jsou piloti dopravních letadel dle zákona upozorněni na to, že ji přesáhli.

Dále jsme z dat byli schopni sestavit graf závislosti prostorového dávkového ekvivalentu změřeného detektorem Liulin za 10 s na výšce. Získanými daty jsme proložili exponenciální křivku, která je zde značena čárkovaně. Pro porovnání jsme uvedli křivku stejného významu vypočtenou programem EXPACS. Tento program v závislosti na geografické poloze a nadmořské výšce dokáže vypočíst energetické spektrum různých částic kosmického záření a tedy i určit hledaný prostorový dávkový ekvivalent za čas.



Na začátku práce jsme si stanovili jako cíl porovnat absorbovanou dávku kosmického záření pilotů dopravních a sportovních letadel během výkonu jejich povolání. Zjistili jsme, že pilot sportovního letadla je vystaven několikanásobně nižší zátěži v porovnání s piloty letadel dopravních. Nejenže se nám přes značné technické problémy podařilo porovnat tyto dvě dávky, také jsme porovnali naměřená data s daty získanými z programu EXPACS, který byl speciálně vytvořen pro výpočet spekter částic v atmosféře. Dále jsme našli závislost prostorového dávkového ekvivalentu na nadmořské výšce a to jak ze změřených dat, tak i z dat, která vygeneroval EXPACS. Viditelné nesrovnalosti mezi vypočtenými a naměřenými daty mohou pocházet z nepřesností měření, spíše se však projevuje fakt, že vypočtená data nezohledňují terestriální záření.

## Závěr

V naší práci jsme se snažili porovnat radiační zatížení pilotů dopravních a sportovních letadel. Zjistili jsme, že pilot sportovního letadla je vystaven menší dávce kosmického záření než pilot dopravního letadla, který létá asi ve dvojnásobné výšce. Pilot sportovního letadla je během roku podroben prostorovému dávkovému ekvivalentu asi 0,482 mSv, zatímco takový průměrný pilot dopravního letadla České nebo Slovenské společnosti je za jeden rok podroben dávce asi 1,346 mSv. Chtěli bychom poděkovat především naší supervisorce Ing. Dáše Kyselové za neocenitelnou pomoc a ochotu při řešení mnohých problémů a úskalí našeho projektu. Moc děkujeme také celému organizačnímu týmu Týdne vědy na Jaderce 2016 za možnost zúčastnit se měření kosmického záření.

## Reference

## Reference

- [1] KYSELOVÁ D.: Radiační zátěž posádek letadel. Praha, 2013. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská. Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření.