

Radiační zátěž od kosmického záření na palubě letadla

Linda Tománková¹, Karolína Dvořáková², Oliwia Wantulok³, Viktor Matějek⁴

¹Gymnázium Boskovice; lindatomankova@email.cz

²Soukromé gymnázium Ad Fontes Jihlava; karcie@seznam.cz

³Gymnázium J. Božka Český Těšín; oliwia.wantulok@gmail.com

⁴Střední škola letecká Kunovice; matejekv@gmail.com

školitel: Ing. Ondřej Ploc, Ph.D.; ODZ ÚJF AV ČR

Abstrakt

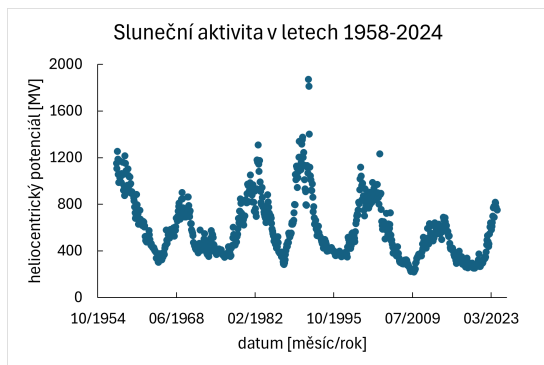
Kosmické záření neustále dopadá na naši planetu a těžko se jeho expozici dá vyhnout, ale nejvíce jsou tímto zářením ohroženy posádky letadel a kosmických lodí, které před jeho vlivy nechrání tak podstatná část atmosféry. Cílem našeho projektu bylo měření a následné vyhodnocení dávek, které může obdržet posádka letu do nadmořské výšky 4000 m za určitý časový interval. Výsledkem našeho měření na palubě letadla byly hodnoty dozimetrických veličin vztažené na výšku letu, počet zaznamenaných částic v závislosti na čase a nalezení minima radiace.

1 Úvod

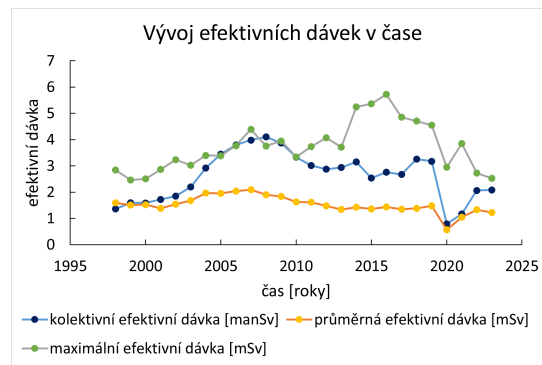
Kosmické záření je proud vysoce energetických částic, které při dopadu do zemské atmosféry vytvářejí směsné radiační pole. Tvoří ho převážně protony a jádra hélia, méně elektrony, jádra jiných prvků a další elementární částice. Objevil jej rakouský fyzik Viktor Hess roku 1912 při letech balonem z Ústí nad Labem, za což získal Nobelovu cenu. Všiml si, že intenzita záření roste s nadmořskou výškou. Podle zdroje dělíme kosmické záření hlavně na galaktické a sluneční. To galaktické pochází především z explozí supernov, sluneční je produkováno naším Sluncem a jeho intenzita se mění v závislosti na sluneční aktivitě, jejíž cyklus trvá přibližně 11 let (viz Obrázek 1a).

Díky kosmickému záření jsou členové posádek letadel radiačně nejzatíženější pracovníci v ČR vůbec, a protože součástí letadla obvykle není dozimetr, který by stanovil přesnou dávku, je nutné ji dopočítat až zpětně. Podle těchto výpočtů je posádka na palubě dopravního letadla průměrně vystavena dávce 2 mSv za rok.

Cílem projektu je seznámení se s problematikou stanovení radiační zátěže na palubě letadla a jeho dopady na posádku. Efektivní dávka (viz Obrázek 1b) a prostorový dávkový ekvivalent jsou dozimetrické veličiny, které jsme se v našem miniprojektu snažili určit.



(a) Vývoj sluneční aktivity od ledna roku 1958 po duben roku 2024.



(b) Časový záznam efektivních dávek. Testováno bylo v průměru přibližně 1 700 osob.

Obrázek 1: Statistiky sluneční aktivity a efektivních dávek v průběhu několika let.

2 Materiály, metody

Pro výpočty jsme využili program EXPACS. Měření hodnot kosmického záření jsme prováděli s pomocí níže uvedených přístrojů a k zaznamenání polohy GPS lokátory.

EXPACS – program [1] pro výpočet spektra atmosférického kosmického záření. Dokáže vypočítat toky kosmického záření mnoha elementárních částic. Dále umí odvodit efektivní dávku, okolní dávkový ekvivalent a absorbovanou dávku ve vzduchu v důsledku expozice kosmického záření.

RT-56 – gama spektrometr. Jeho krystal (jodid sodný dopovaný thalliem) má rozměry 5×3 palců. Je používán hlavně k monitorování radiací z bouřek. Má základní spektrum 1500 kanálů, které končí na 4,5 MeV. Nad tuto hodnotu platí sekundární spektrum. Je kalibrován na přírodní záři.

Hawk – letecký gama spektrometr pro vyhledávání radionuklidových zdrojů a odhad jejich aktivity. Je součástí modelové kalibrace, která zahrnuje spektrometr D230A se dvěma detektory NaI(Tl) 2×2 palce. Přístroj byl kalibrován pro různé radionuklidy při letových výškách od 1 do 25 metrů.

TEPC, Airdos, Labdos: Další přístroje použité během letu, jejichž princip a funkce jsou popsány v článku [2].



(a) Gama spektrometr RT-56.

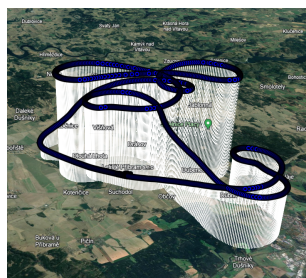


(b) Tkáni-ekvivalentní proporcionální počítač Hawk.

Obrázek 2: Fotografie vybraných přístrojů, které jsme během letu použili.

Samotné měření jsme provedli v průběhu dvacetiminutového letu na palubě Pilatusu PC6. Z letiště Příbram, které leží v nadmořské výšce 466 m jsme odstartovali ve 12:25

UTC a následně jsme během 14 minut vystoupali do výšky 4630 m. n. m., ve které jsme setrvali jednu minutu. Poté jsme po šestiminutovém klesavém letu ve 12:45 UTC přistáli zpět na letišti. Profil letu je zobrazen na Obrázku 3a.



(a) Profil letu.



(b) Posádka před letem.

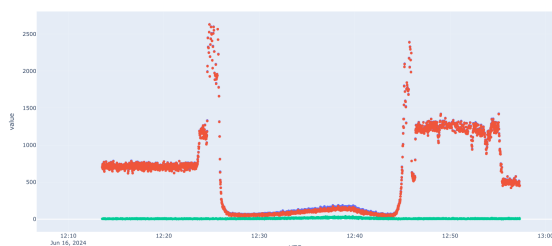
Obrázek 3

3 Výsledky a diskuze

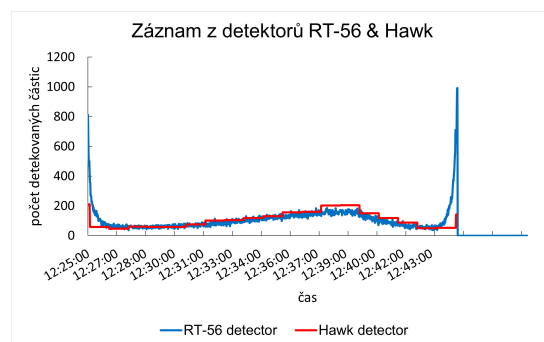
Během letu detektory zaznamenávaly počet částic v závislosti na čase. Hawk naměřil 2521 částic, zatímco RT-56 112009, protože RT-56 měří částice procházející krystalem, zatímco Hawk měří částice procházející plynem. Krystal je citlivější na zachycení částic a energii zanechanou v hmotě.

Na obrázku 4a je záznam z RT-56. Na začátku je měření před startem a spuštěním motoru, s hodnotou kolem 750 impulsů. Po spuštění motoru dojde k nárůstu kvůli citlivosti fotonásobiče na otřesy. Po startu letadla hodnoty klesají kvůli vzdálení od zdrojů zemského záření a s rostoucí výškou opět rostou kvůli kosmickému záření. Z grafu je vidět strmější sestup letadla, zakončený nárůstem vibracemi po přistání.

Na obrázku 4b je v grafu pro srovnání také záznam z detektoru Hawk, který měří v minutových intervalech.



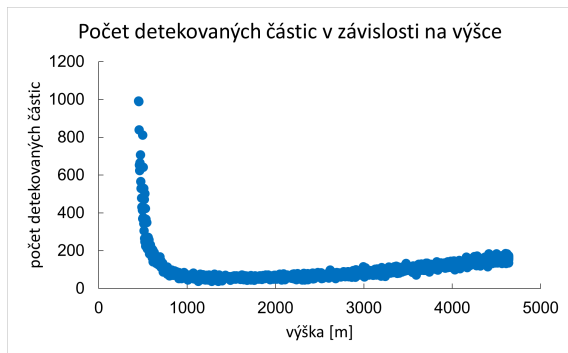
(a) Záznam z detektoru RT-56 v průběhu letu.



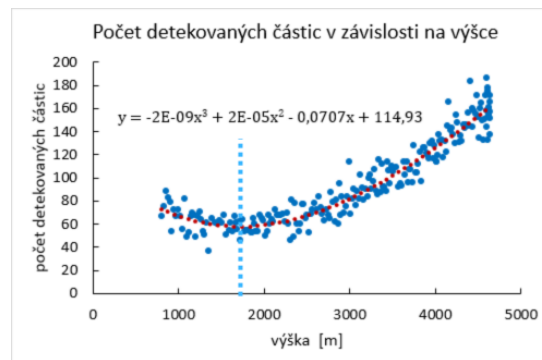
(b) Časový záznam z detektorů RT-56 a Hawk na palubě letadla.

Obrázek 4: Záznam počtu detekovaných částic na čase.

Dalším naším úkolem bylo najít nadmořskou výšku, ve které je záření minimální. Takové minimum existuje, protože s rostoucí vzdáleností od země klesá terestrická složka záření a od určité výšky začne převládat složka kosmická. K řešení této úlohy jsme použili zobrazení závislosti impulsů měřených pomocí RT-56 na nadmořské výšce, viz Obrázek 5a. K nalezení funkce, u které bychom našli minimum, jsme však použili data redukována jen na okolí minima (Obrázek 5b), se kterými se vhodná funkce hledala snáz.



(a) Počet detekovaných částic v průběhu letu v závislosti na výšce.



(b) Zobrazení oblasti v okolí minima z grafu 5a a rovnice fitovaného polynomu.

Obrázek 5: Grafy znázorňující závislost počtu detekovaných částic na výšce.

Použili jsme polynom 3. stupně a lokální minimum jsme našli jeho derivací položenou rovnou nule. Výsledkem je, že poloha minima radiace leží v nadmořské výšce 1719 m.

Ke stanovení radiační zátěže během našeho letu jsme použili referenční detektor Hawk, který měří dávkový ekvivalent H , a porovnali s výsledky výpočetního programem EXPACS, viz Tabulka 1. Výrazně vyšší měřené hodnoty si vysvětlujeme (1.) absencí stanovení terestrické složky výpočtem a (2.) detektor Hawk je kalibrován na měření v mnohem vyšších letových výškách.

Tabulka 1: Porovnání radiační zátěže měřené detektorem Hawk a vypočtené EXPACSem.

	total	low LET	high LET
Hawk H [nSv]	214,73	48,90	165,83
EXPACS H [nSv]	84,71	31,08	53,63
EXPACS E [nSv]	64,42	24,32	40,09

4 Závěr

Na základě provedených měření a výpočtů bylo zjištěno, že dávka kterou jsme dostali na palubě letadla vynáší 64,42 nSv (viz Tabulka 1). Pomocí přístrojů RT-56 a Hawk jsme dokázali zaznamenat počet kosmických částic a určit, že nadmořská výška s minimální radiací je 1719 metrů. Tyto výsledky jsou důležité pro pochopení radiační zátěže v letecké dopravě a pro další vývoj ochranných opatření.

Poděkování

Především bychom chtěli poděkovat vedoucímu našeho miniprojektu Ing. Ondřeji Plocovi, Ph.D. a Ing. Jakubu Šleglovi za veškerou podporu. Dále bychom rádi poděkovali všem organizátorům Týdne vědy na Jaderce.

Reference

- [1] T. Sato, Analytical Model for Estimating the Zenith Angle Dependence of Terrestrial Cosmic Ray Fluxes, PLOS ONE, 11(8): e0160390 (2016), <http://phits.jaea.go.jp/expacs/>
- [2] Dny radiační ochrany (XLII.), 2021; DOI: 10.14311/dro.2021.xlii;