

Ochrana posádek letadel před ionizujícím zářením

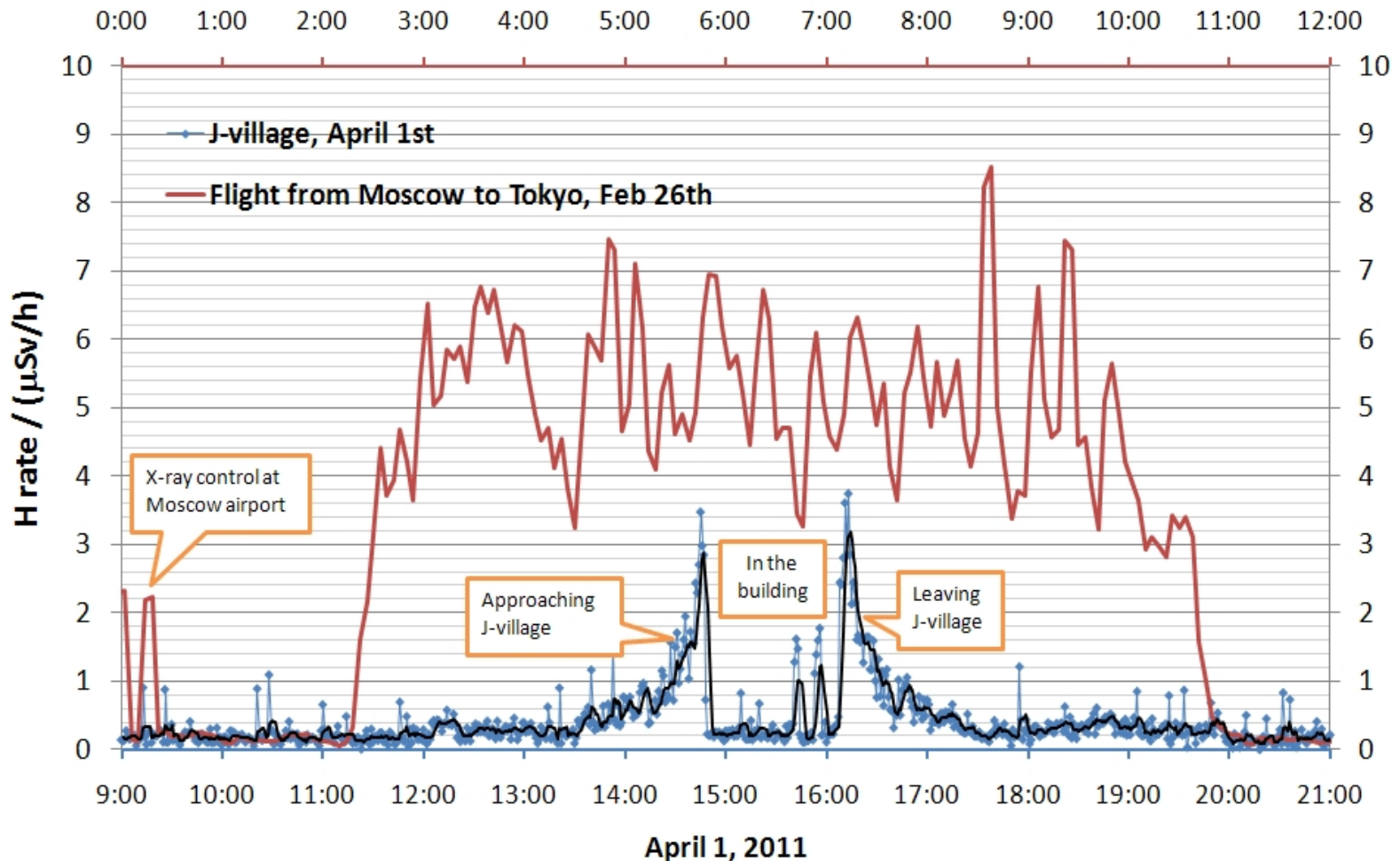


Oddělení dozimetrie záření
Ústav jaderné fyziky AVČR, v.v.i.

Ondřej Ploc

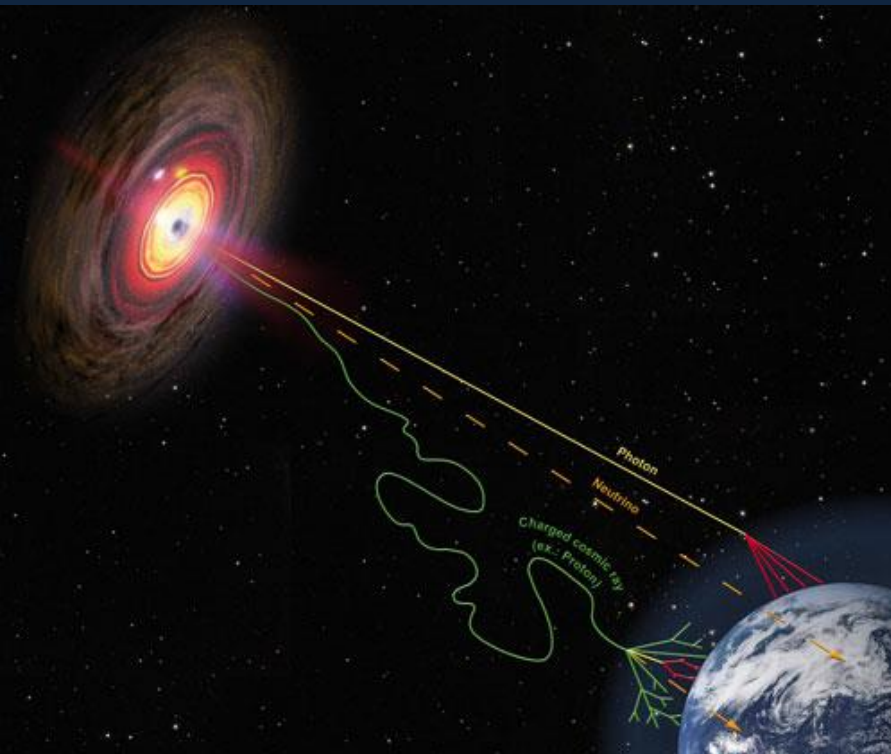
Motivace

February 26, 2011

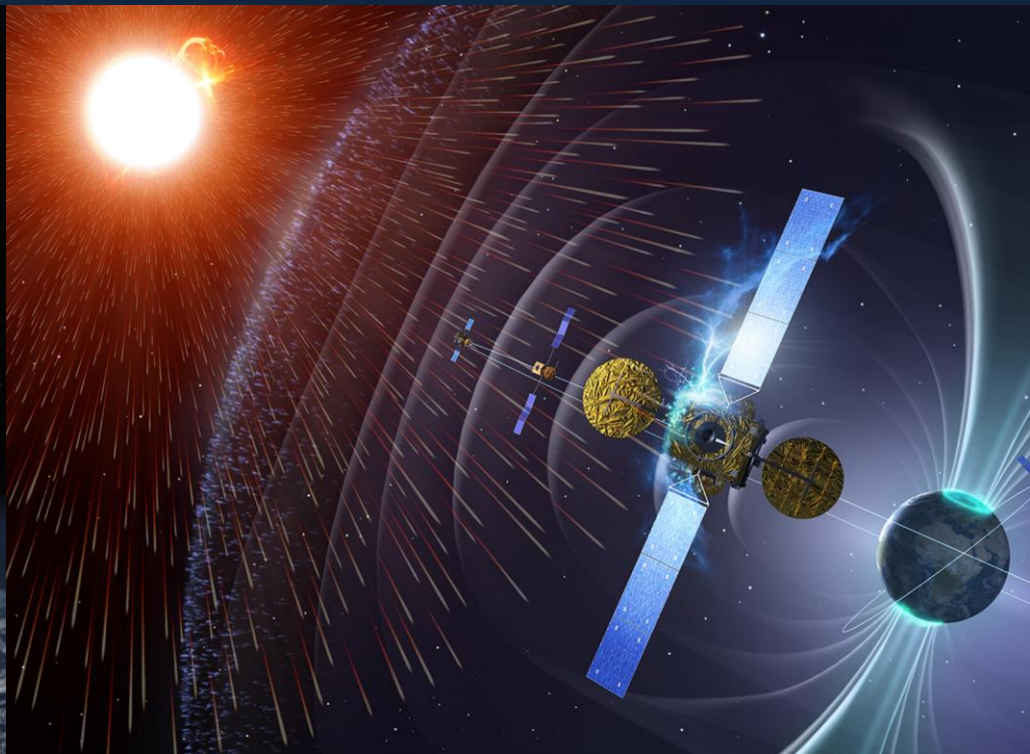


Comparison of dose rates onboard aircraft and at J-village (20km from Fukushima 1 power plant) measured with the same Liulin detector before the accident (flight from Moscow to Tokyo) and a few weeks after the accident (at J-village).

Kosmické záření

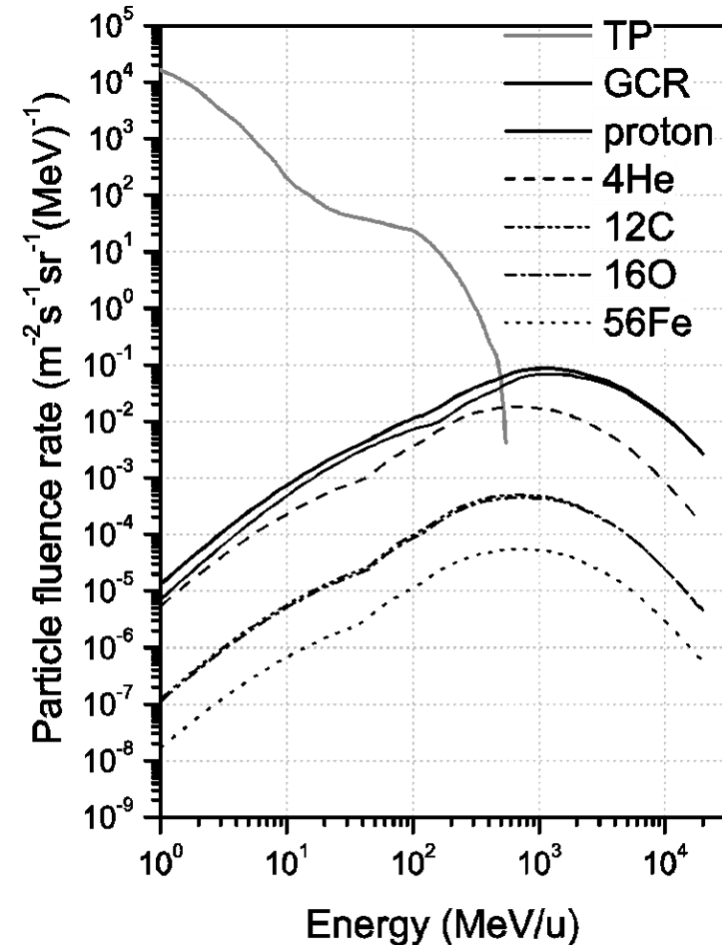
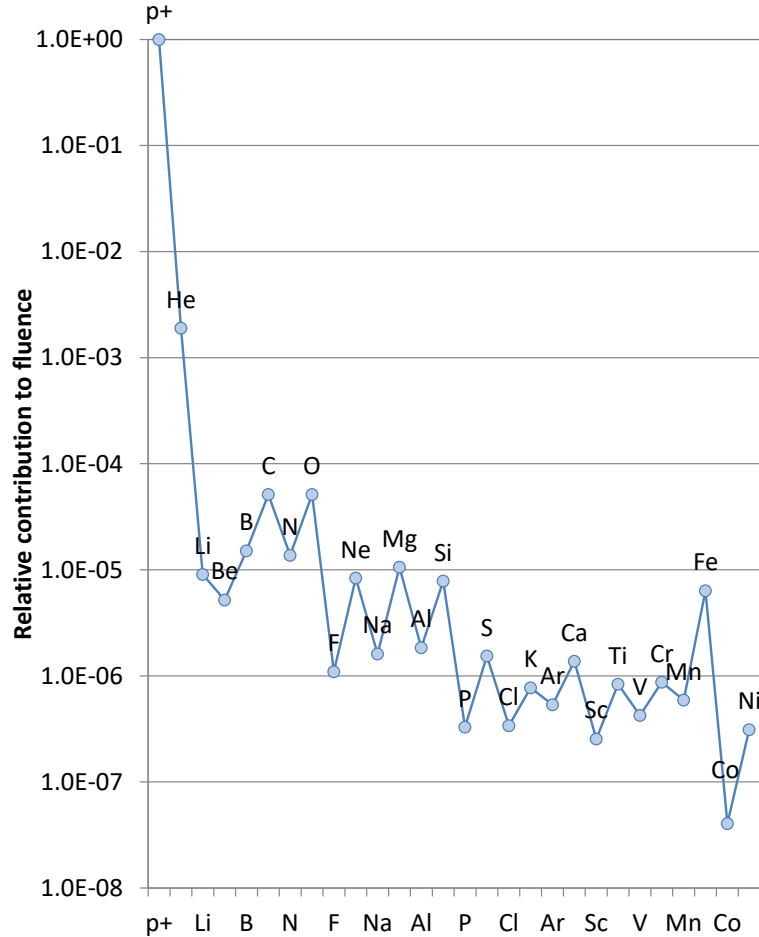


Galaktické kosmické záření – neustále bombarduje atmosféru Země



Sluneční kosmické záření – k událostem dochází jednou za čas

Kosmické záření v blízkém okolí Země

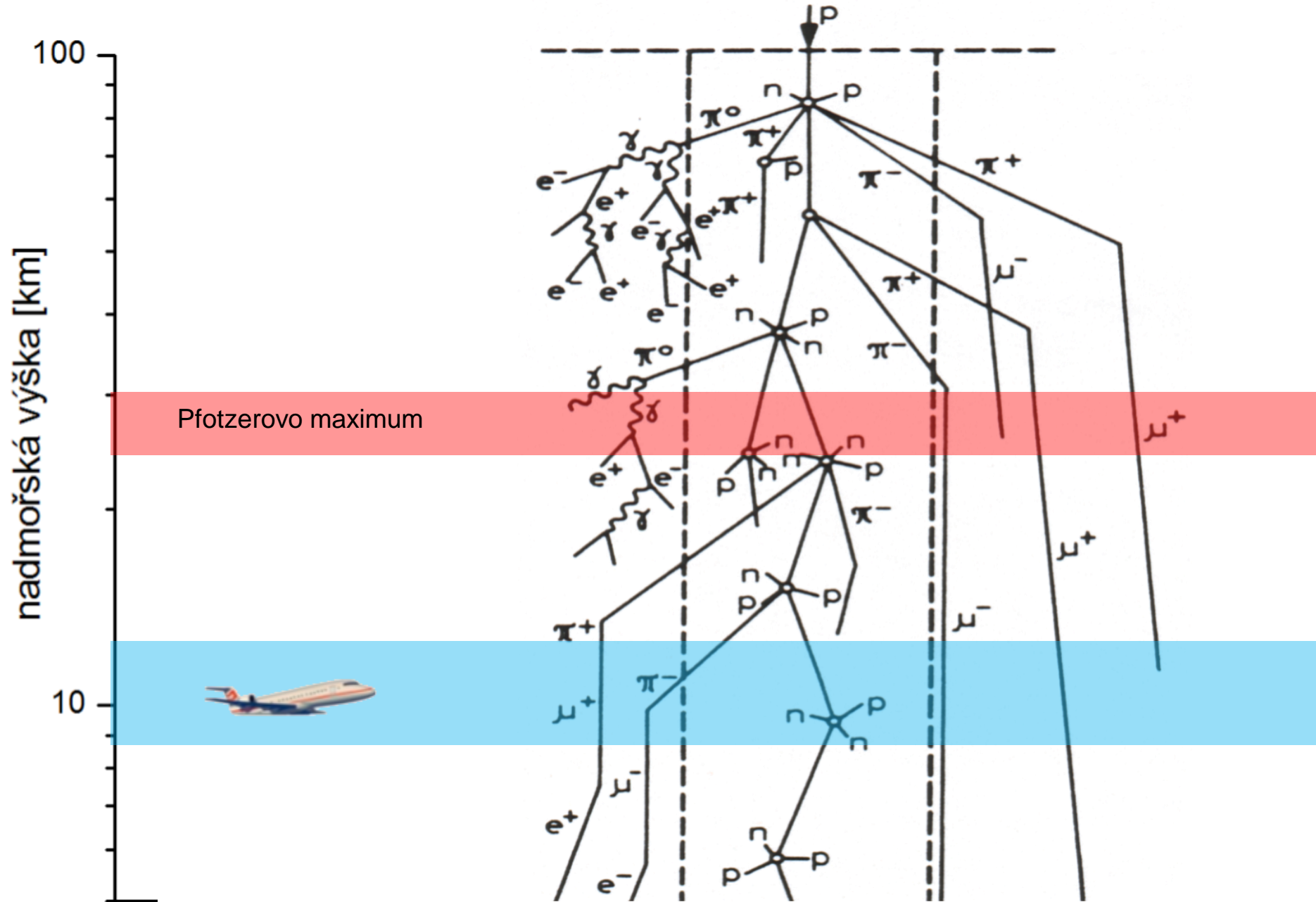


GCR Model ISO-15390

Calculation using SPENVIS for ISS

(apogee 364km, perigee 368km, inclination 51.6°, solar minimum)

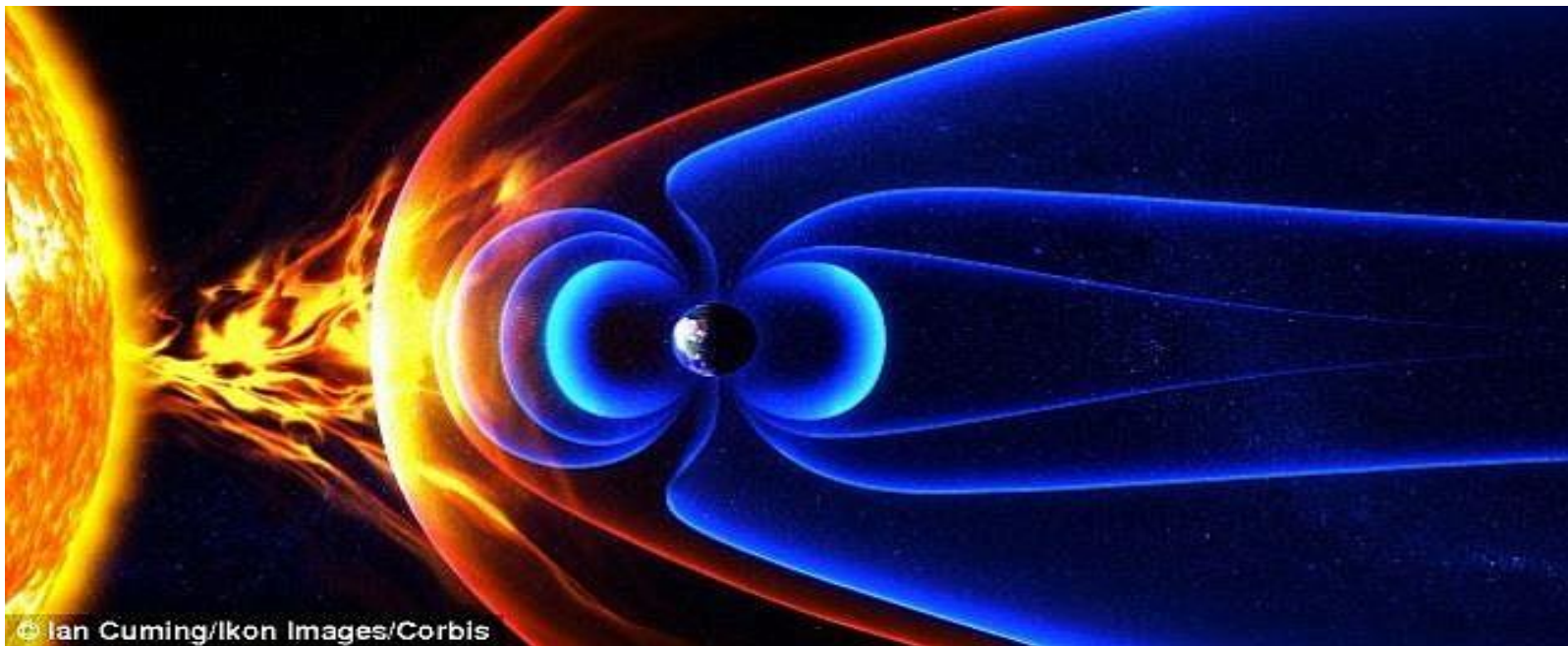
Kosmické záření v atmosféře



Kosmické záření v atmosféře

Základní parametry:

- **Nadmořská výška** – stínící efekt vzduchu
- **Zeměpisná poloha** – stínící efekt geomagnetického pole
- **Sluneční aktivita** – stínící efekt slunečního magnetického pole a zdroj částic
 - **dlouhodobá** – přibližně 11-letý sluneční cyklus
 - **krátkodobá** – Solar Particle Events, nabité částice z erupcí směrem k Zemi (GLE, Forbush)



Vliv základních letových parametrů

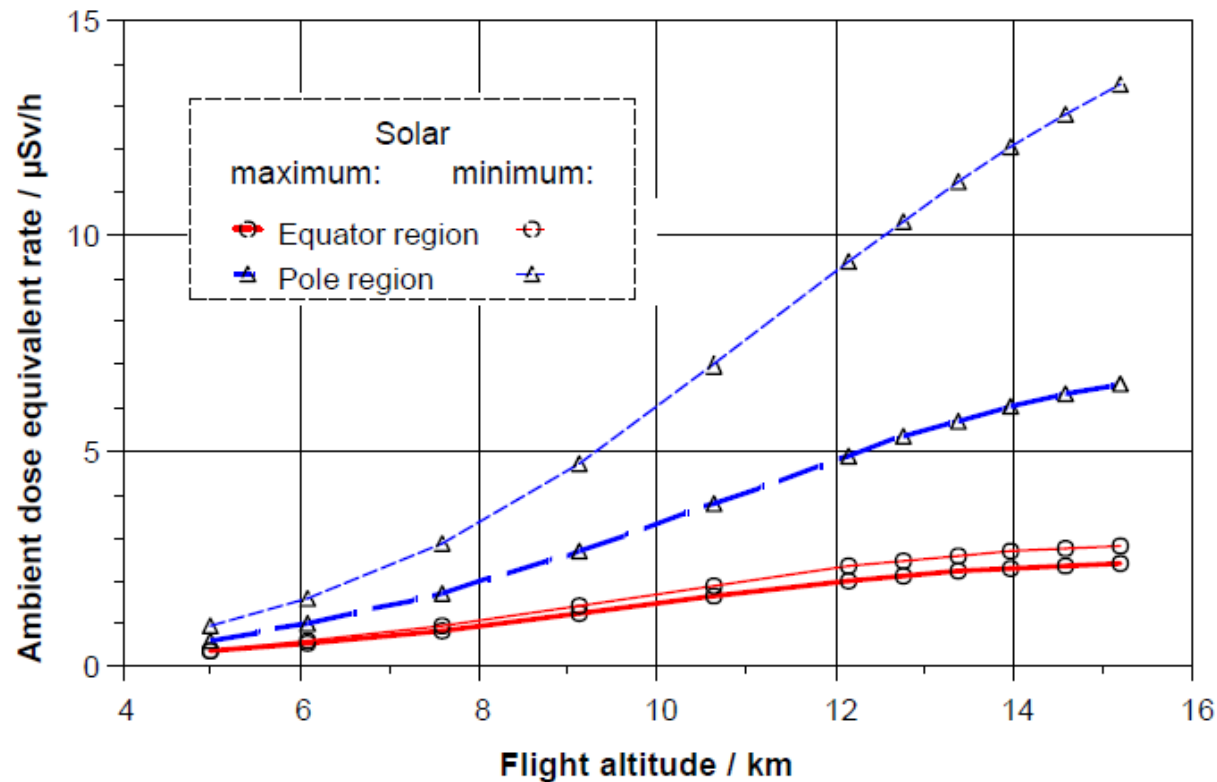


Figure II.2 Calculated ambient dose equivalent rate, $dH^*(10)/dt$, for conditions close to solar maximum activity (Jan.1990) and close to solar minimum (Jan. 1998), both at zero-meridian ($\lambda=0^\circ$) and geographic latitude ϕ of 0° (red lines) resp. 90° (blue lines).

Radiation Protection 140 Cosmic Radiation Exposure of Aircraft Crew Compilation of Measured and Calculated Data Final Report of EURADOS WG 5

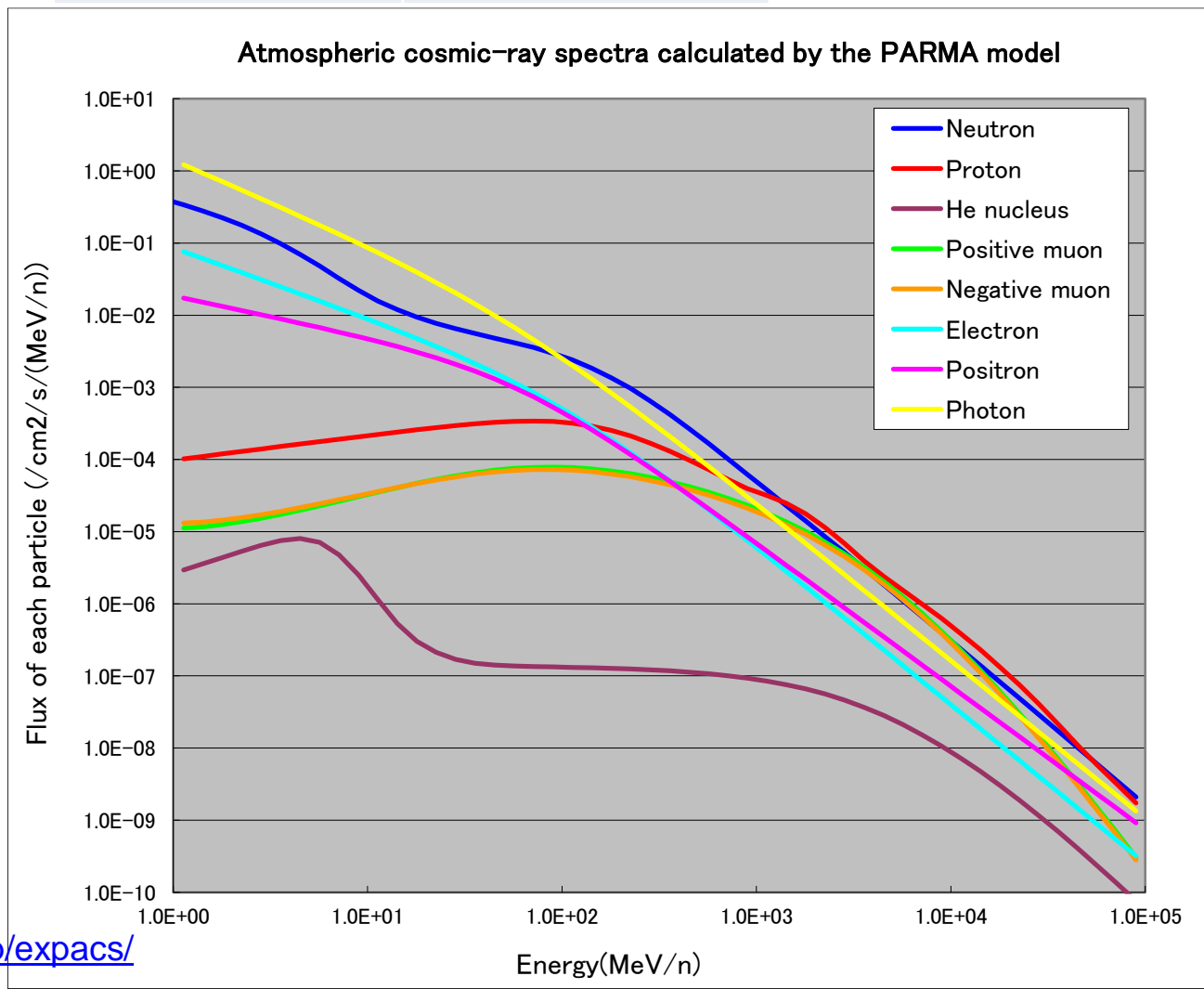
Kosmické záření v atmosféře

Effective dose [$\mu\text{Sv/h}$]	H*(10) [$\mu\text{Sv/h}$]
4.13	5.25

Altitude
35000 feet

Cut-off rigidity
2 GV

Date
2019-4-15



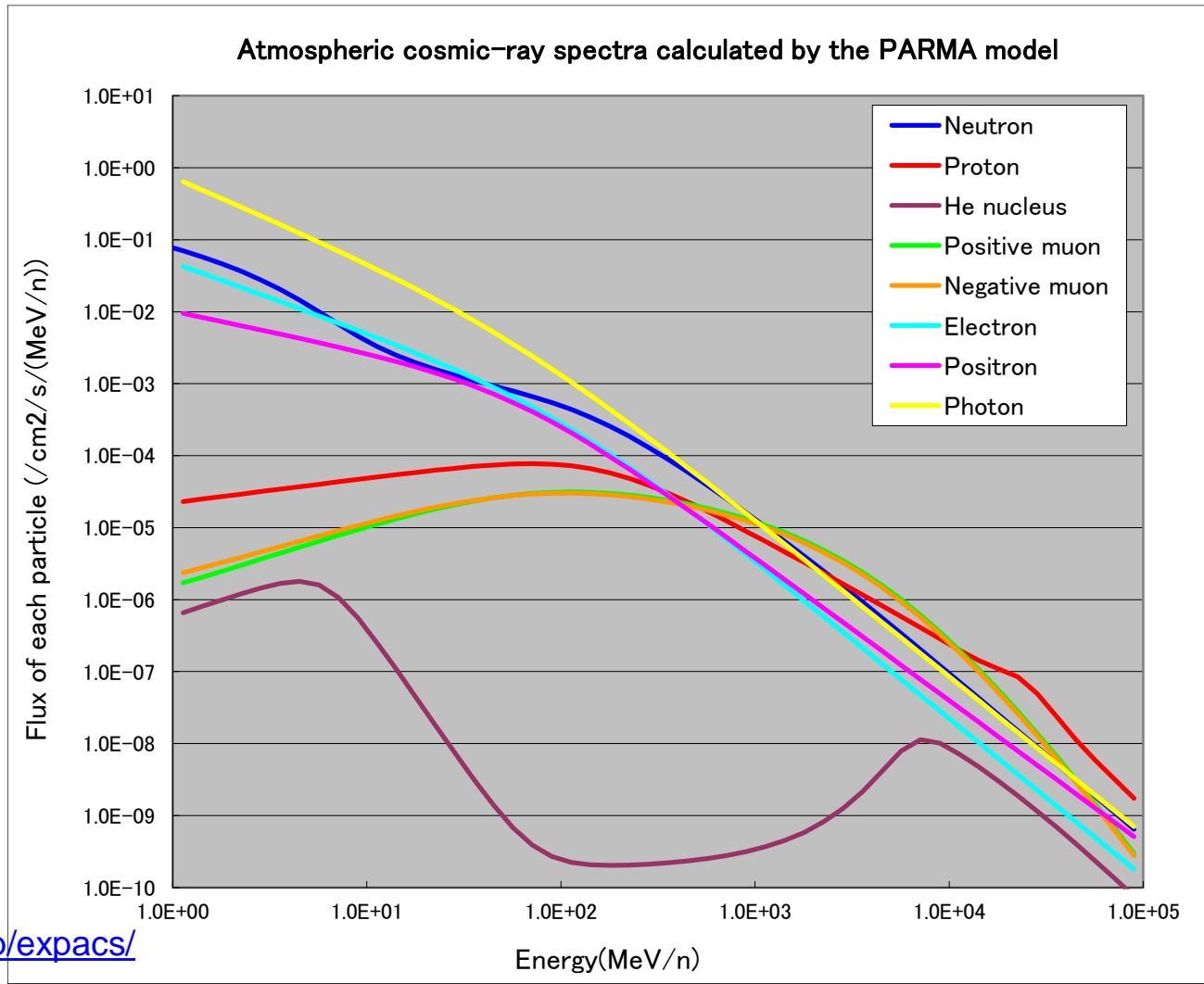
Kosmické záření v atmosféře

Effective dose [$\mu\text{Sv/h}$]	H*(10) [$\mu\text{Sv/h}$]
1.23	1.53

Altitude
35000 feet

Cut-off rigidity
16 GV

Date
2019-4-15

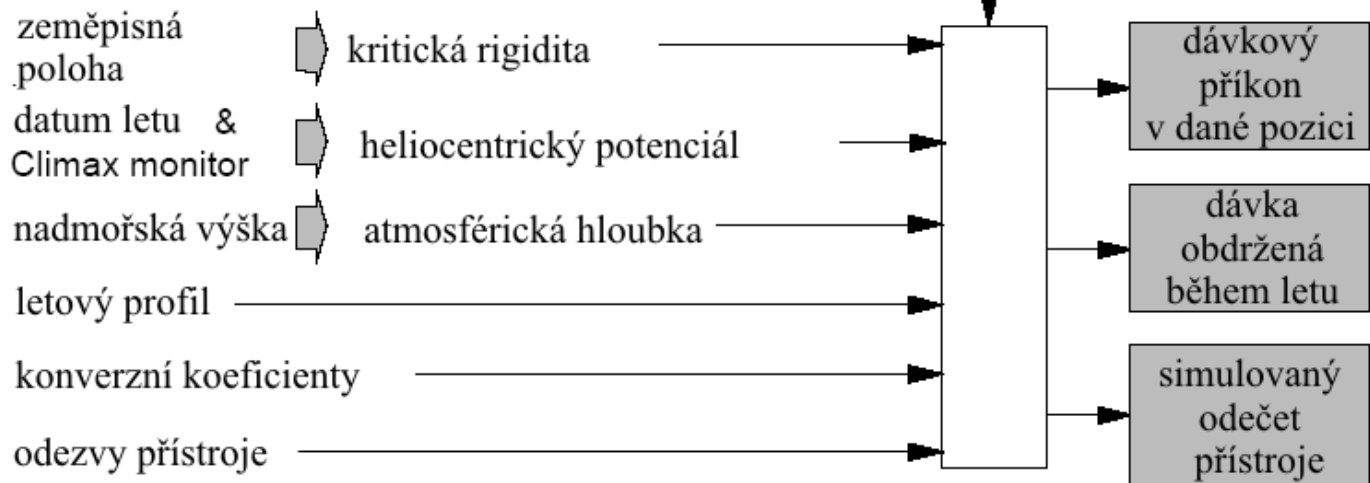


Výpočetní programy

Model kosmického záření
(NASA)
FLUKA
Monte-Carlo-Radiation
Transport Program

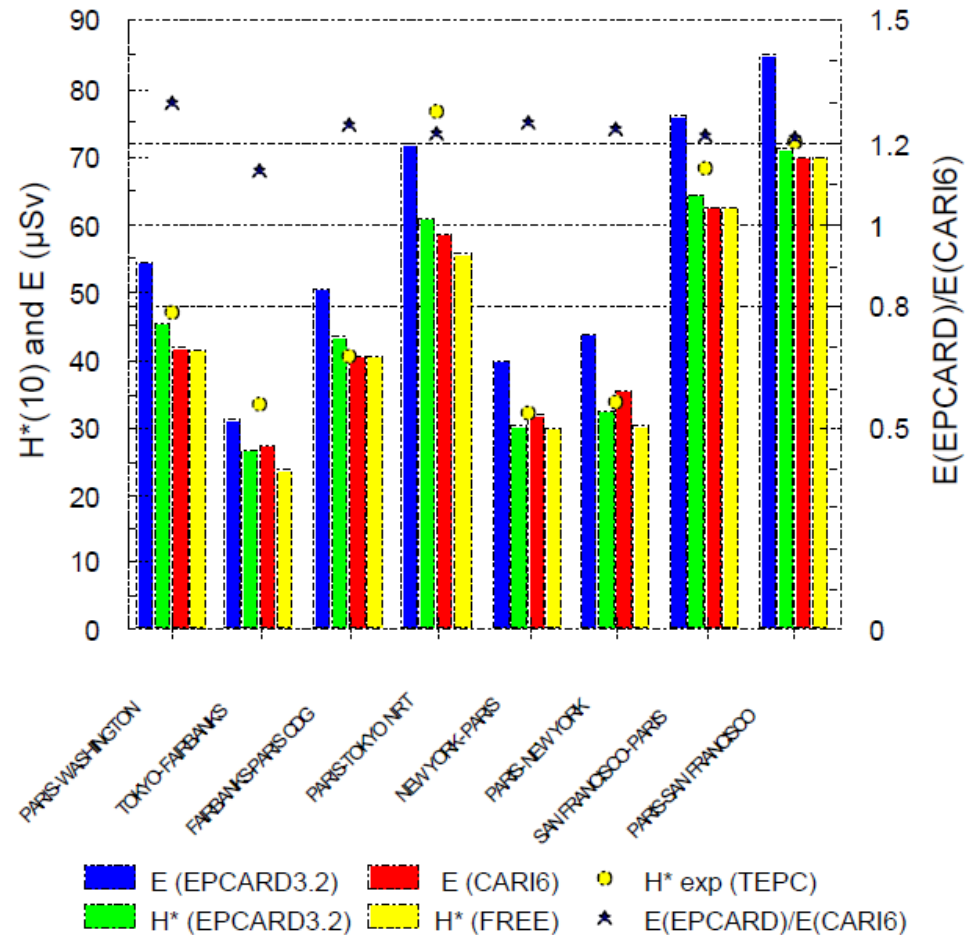
transportní výpočty pro:
 $n, p, \pi, e, \gamma, \mu$
jako funkce atmosférické
hloubky: 0...1000g/cm²
parametry: - heliocentrický
potenciál
- kritická rigidita

EPCARD
Program Package for the
Calculation of Aviation
Route Doses



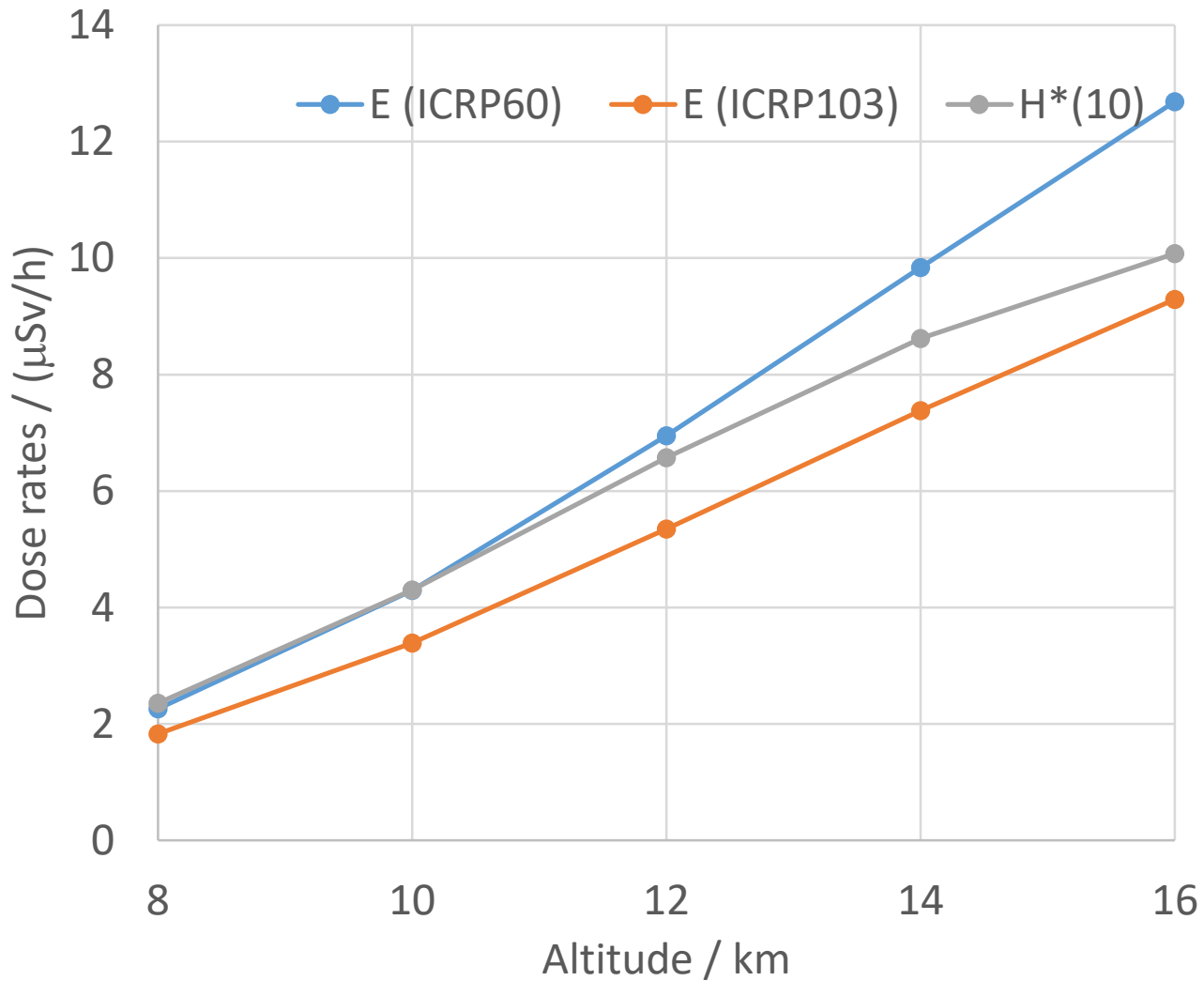
Výpočetní programy

- SIEVERT
- EPCARD
- PC-AIRE
- CARI
- IASON-FREE
- JISCARD
- EXPACS



Radiation Protection 140 Cosmic Radiation Exposure of Aircraft Crew Compilation of Measured and Calculated Data Final Report of EURADOS WG 5

ICRP 103 vs ICRP 60



Povinnosti provozovatelů leteckých společností

- analýza a trvalé sledování radiační zátěže
- informovanost členů posádek letadel
- limit 1mSv po dobu těhotenství

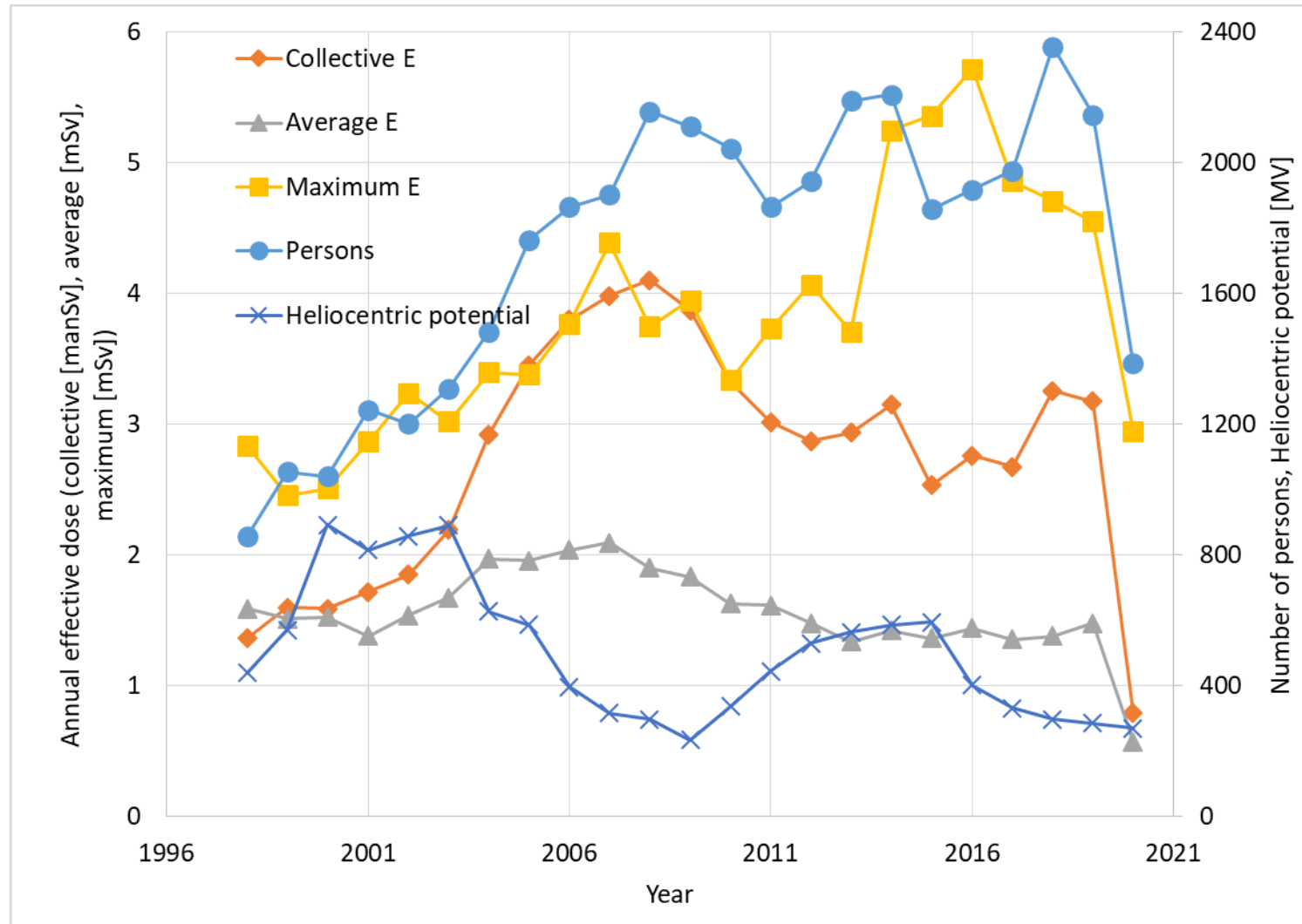


Služba osobní dozimetrie posádek letadel

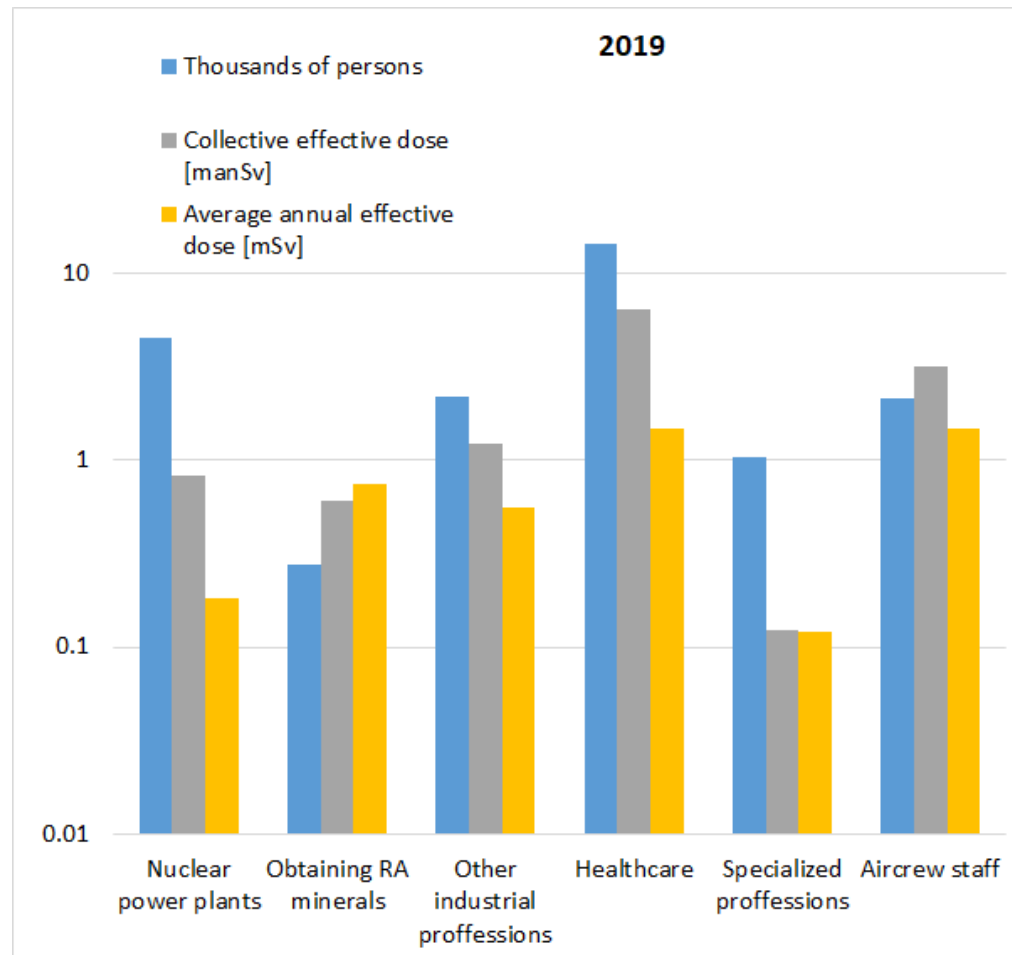
- Metodika schválená SÚJB (PZRO)
 - ZOZ: stanovování osobních dávek pracovníků na pracovišti s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření stanoveného v § 93 odst. 1 písm. a) – paluba letadla při letu ve výšce nad 8 km.
 - Letecká společnost dodá soubor s daty o letech každého člena posádky za rok
 - Výpočet E pomocí programu CARI (verze 5E, 6, and 7)
 - Zjednodušený letový profil
 - Heliocentrický potenciál – měsíční průměr
 - Reálná délka letu
 - Vypracování protokolu, zaslání letecké společnosti a na SÚJB
- Pouze osobní přeprava cestujících (aerolinky, aerotaxi, vládní letka). **Ne cargo, vojáci, ...**

	ČR	Slovensko	Polsko
1	ABS Jets	ABS Jets SK	Smartwings Poland
2	ČSA - České aerolinie	AirExplore	
3	CTR Atmospherica Aviation	Elite Jet	
4	Eclair Aviation	Smartwings Slovakia	
5	G-Jet s.r.o.		
6	Private Jets		
7	Silesia Air		
8	Smart Wings		
9	Time Air		
10	Vojenský útvar 8407		

Výsledky dozimetrie posádek v ČR od r. 1998

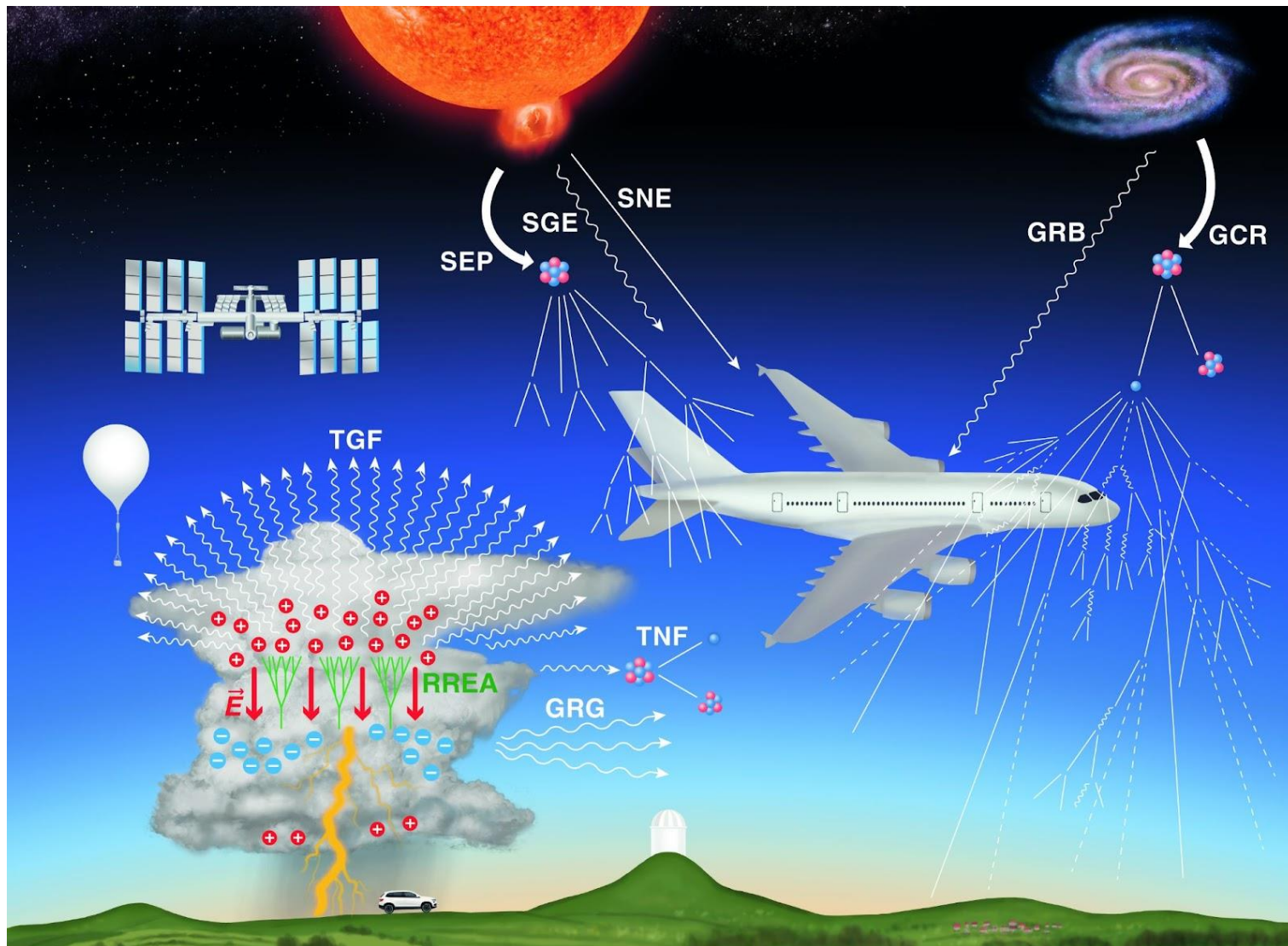


Porovnání radiační zátěže radiačních pracovníků v ČR

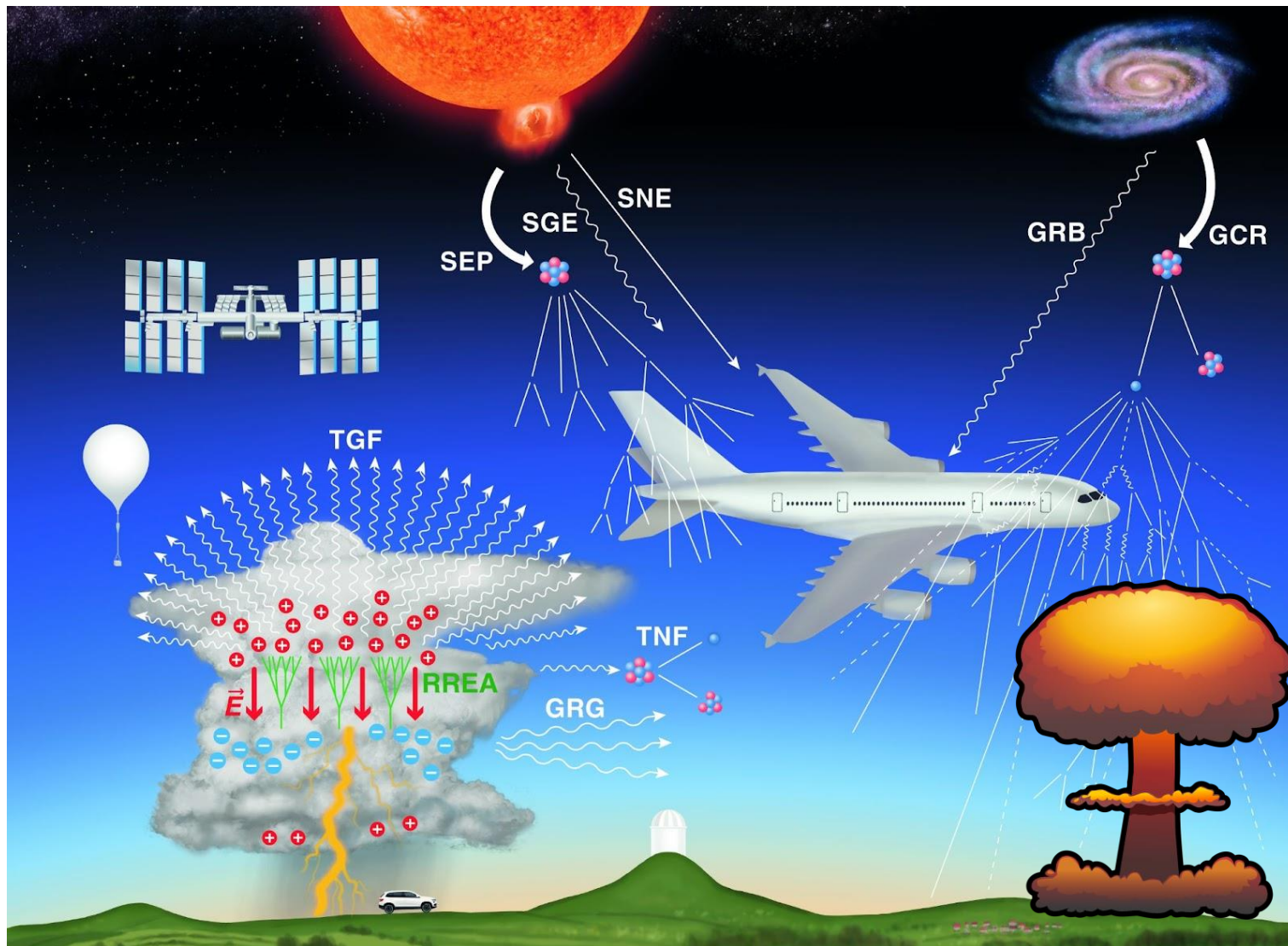


Zdroj SÚJB: Centrální registr profesních ozáření

Možné zdroje ionizujúceho žiarenia na palubách letadel

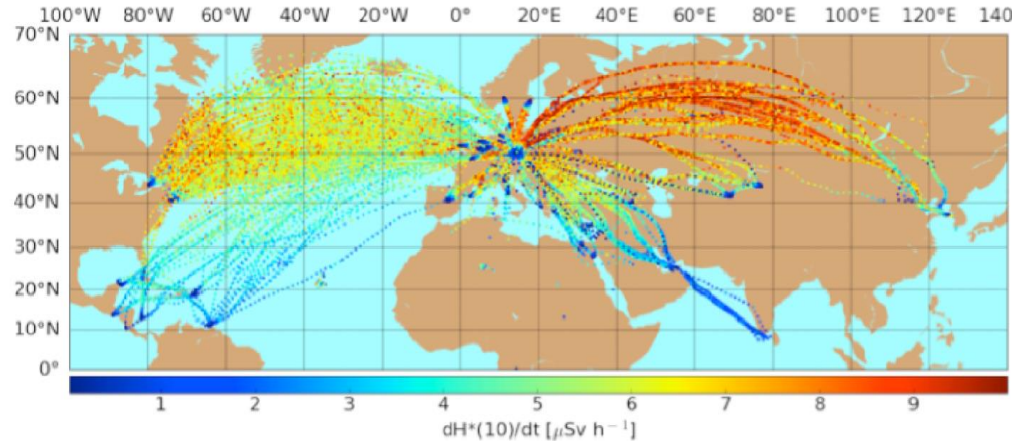


Možné zdroje ionizujúceho žiarenia na palubách letadel



Dlouhodobá měření na palubách letadel

- Used for observation of space-weather phenomena and quantification of their impact on aircrew
- Performed using a small PIN-diode dosimeter Liulin installed onboard CSA aircraft
- New detector Airdos was developed at NPI and installed onboard several SmartWings aircraft
- Dosimeters are calibrated in HIMAC and CERN



Two databases were created

- CR10: letadlo vs Lomnický štít

Kákona, Martin, et al. "CR10—A public database of cosmic radiation measurements at aviation altitudes of about 10 Km." *RPD* 186.2-3 (2019)

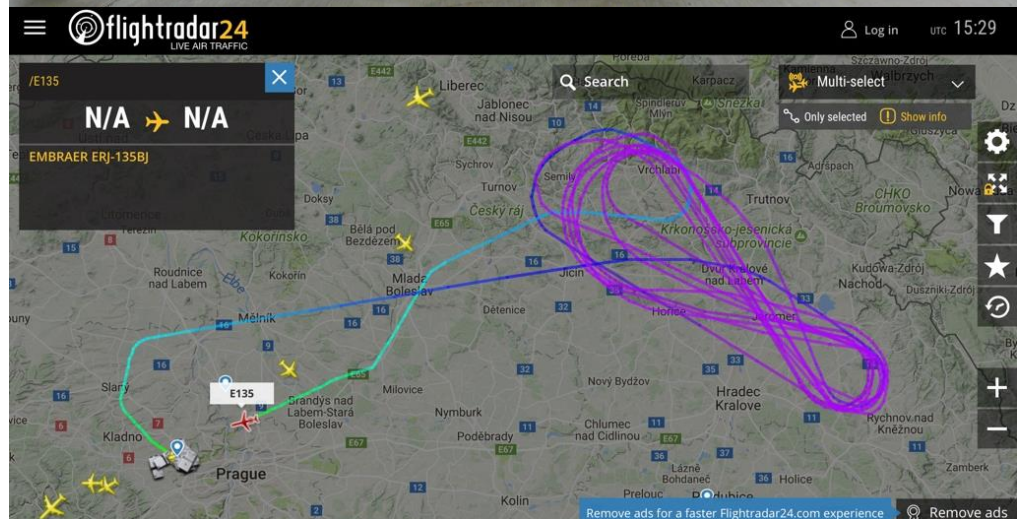
- EDNA European dosimetry network onboard aircraft <http://edna.ujf.cas.cz>

<http://cr10.odz.ujf.cas.cz/>

REFLECT

Research Flight of EURADOS and CRREAT

- intercomparison flight 29 Nov 2017
- ABS Jets a.s.
- bussiness jet Embraer Legacy
- 10 countries, > 12 institutes
- > 250 kg of instruments
- 8 operators onboard
- Main aims:
 - intercomparison of methods
 - Characterisation of radiation field generated onboard aircraft
 - validation of codes
 - test of novel dosimetry methods



Ambrožová, I., Beck, P., Benton, E. R., Billnert, R., Bottollier-Depois, J. F., Caresana, M., ... & Ploc, O. (2020). REFLECT—research flight of EURADOS and CRREAT: intercomparison of various radiation dosimeters onboard aircraft. *Radiation Measurements*, 137, 106433.



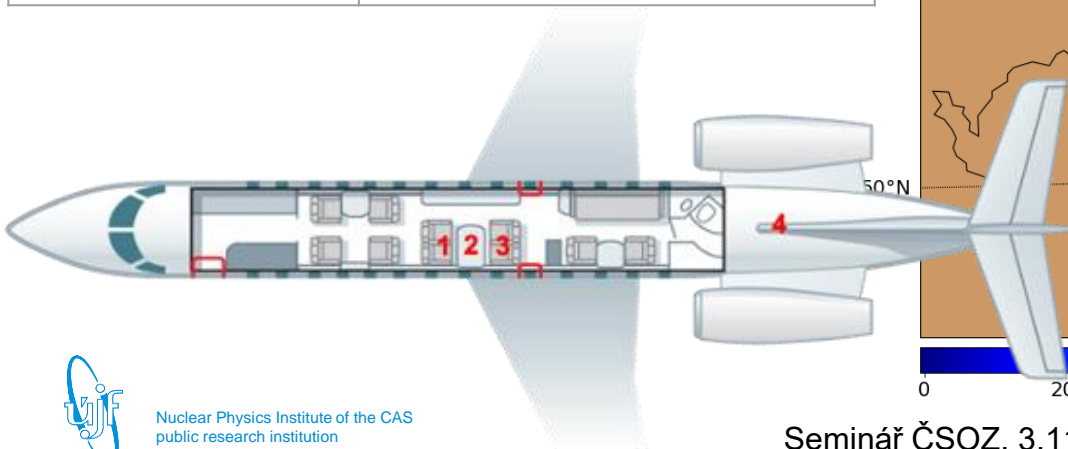
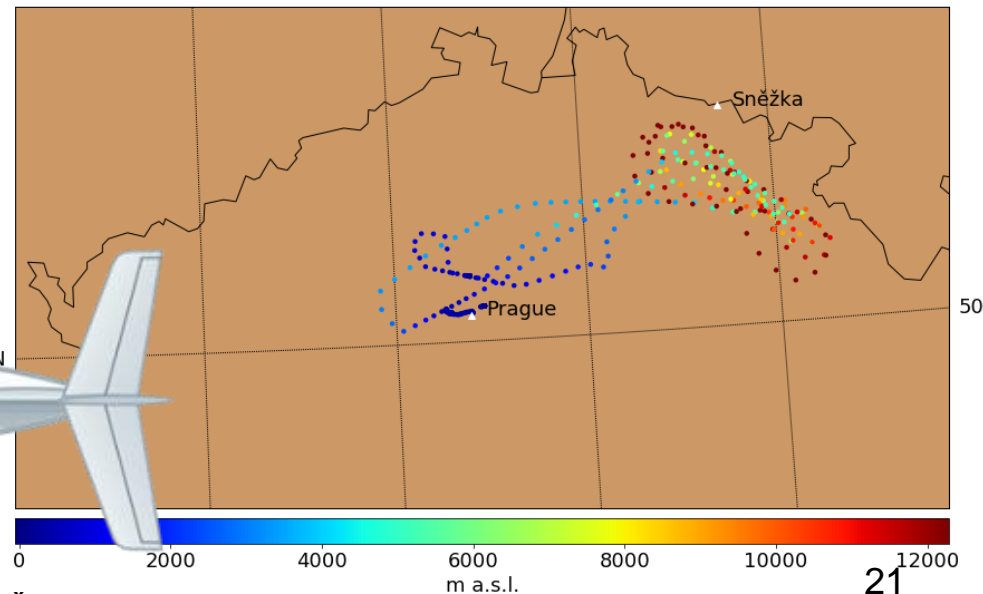
REFLECT2

Research Flight of EURADOS and CRREAT 2

Detector	Measured quantity
TEPC Hawk	D(H ₂ O), H*(10); low-LET, high-LET
Liulin (3x)	D(Si)
Timepix (2x)	D(Si)
Pandora	H*(10); photons, neutrons
Airdos/Spacedos (5x)	D(Si)
Airdos-C (2x)	D(crystal)
bubble detectors	H*(10); neutrons
RT51 (2x)	gamma spectra, counts
GM	flux
RiumGM	H*(10)
strip detectors	flux, D(Si)



13°E 14°E 15°E 16°E 17°E

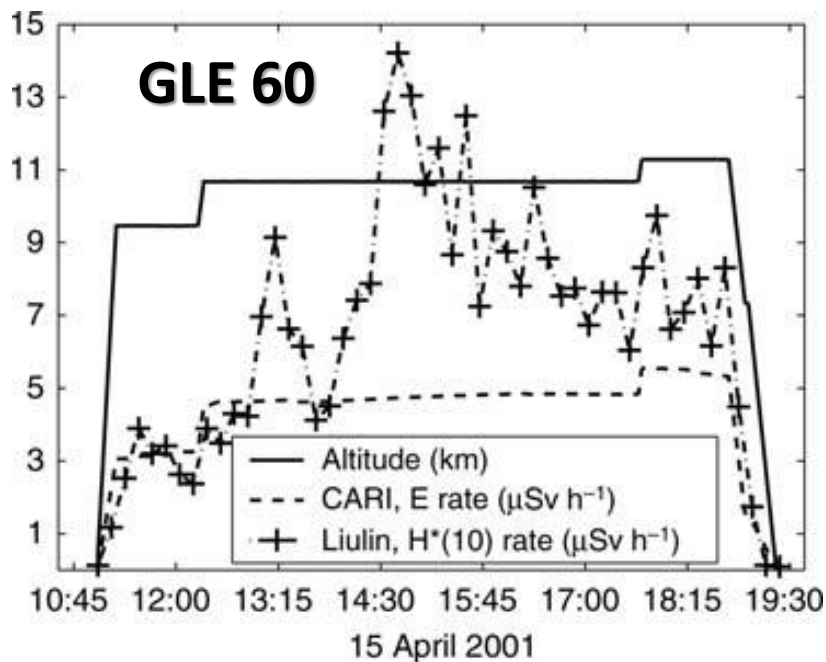


Seminář ČSOZ, 3.11.2021

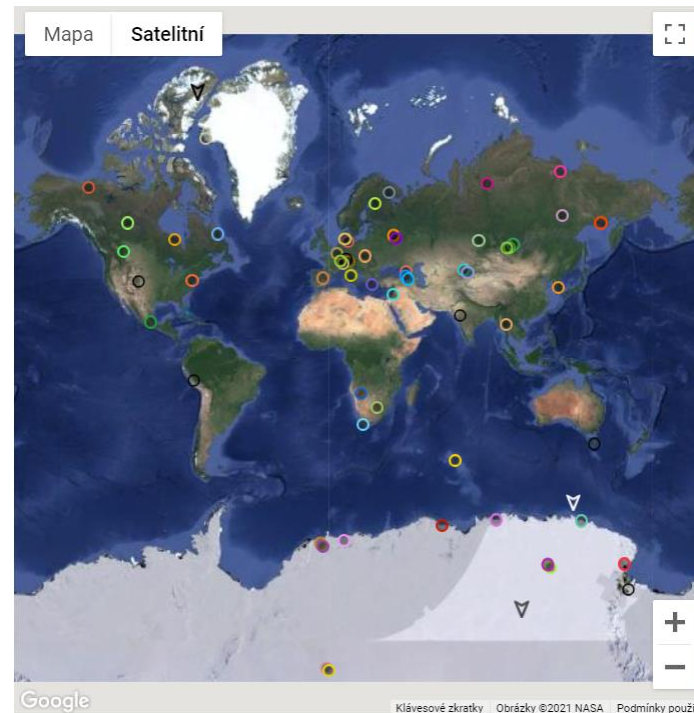


Nuclear Physics Institute of the CAS
public research institution

Krátkodobá sluneční aktivita



Spurny, F. and Dachev, T. Measurements during an Intense Solar Flare, GLE 60. Radiat. Prot. Dosim. 95, 273–275 (2001)



Neutron monitor database

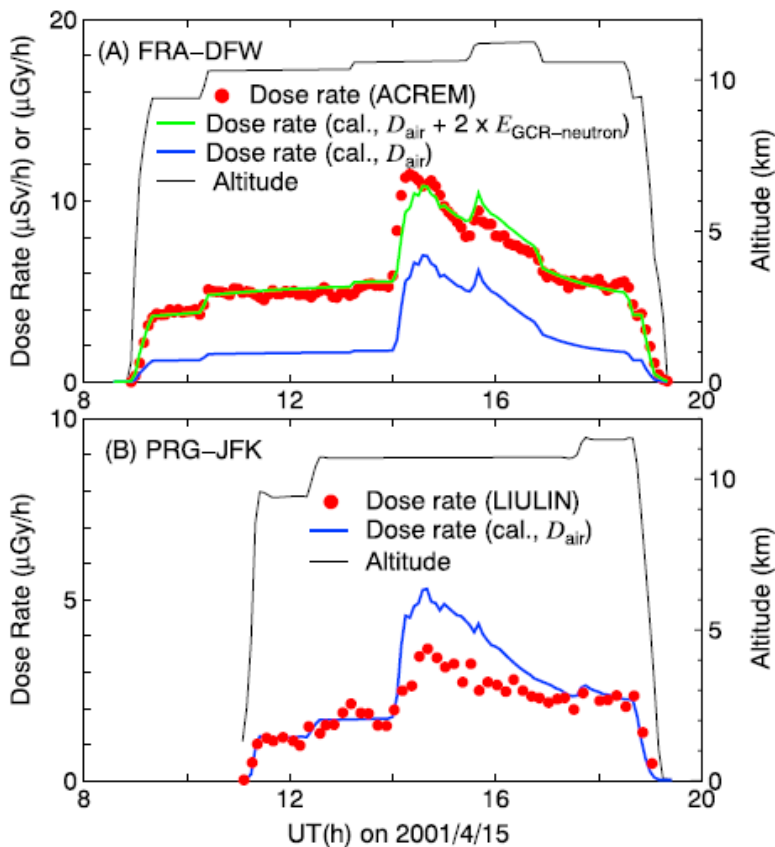
www.nmdb.eu



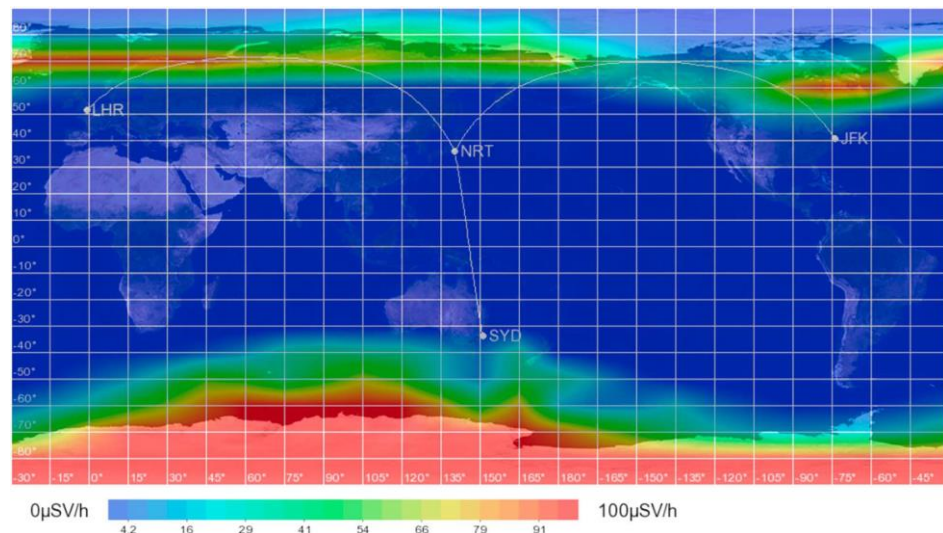
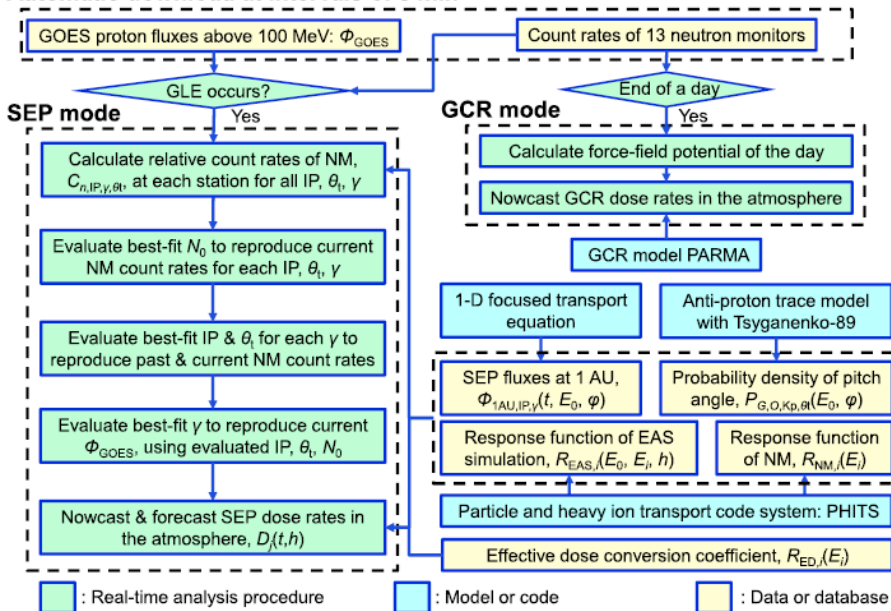
Varovný systém před SEP

Wasavies

Warning System for Aviation Exposure to Solar Energetic Particles



Automatic download at intervals of 5 min



Mezinárodní skupiny zabývající se dozimetrií posádek letadel

European Radiation Dosimetry Group

EURADOS →

EURADOS Working Group 11 High Energy Radiation Fields



**International Standard Organization
ISO/TC85/SC2 - Dosimetry for exposures to
cosmic radiation in civilian aircraft**

ISO 20785-1 Conceptual basis for measurements

konceptní základ pro stanovení prostorového dávkového ekvivalentu při hodnocení expozice kosmickému záření v civilních letadlech a pro kalibraci přístrojů používaných k tomuto účelu. Obsahuje všeobecný popis pole kosmického záření v atmosféře, obecné úvahy pro kalibraci a pro dozimetrii polí kosmického záření v letadle, převodní koeficienty a aktivní a pasivní dozimetrické zařízení (detektory)

ISO 20785-2 Characterization of instrument response

specifikuje metody a postupy pro charakterizaci odezvy přístrojů používaných pro stanovení $H^*(10)$ při hodnocení expozice kosmickému záření v civilních letadlech. Uvedené metody a postupy mají být chápány jako minimální požadavky. Norma obsahuje požadavky na charakterizaci odezvy přístrojů, všeobecné úvahy pro měření v letových hladinách, doporučená referenční kalibrační radiační pole, charakterizaci přístrojů, používaný software apod.

ISO 20785-3 Measurements at aviation altitudes

uvádí základy pro měření prostorového dávkového ekvivalentu v letových hladinách při hodnocení expozice kosmickému záření v civilních letadlech. Obsahuje obecné úvahy se vztahem k měření (výběr vhodných přístrojů, měření v letadle apod.), parametry, které mají vliv na dávkový příkon (barometrická výška, geografická poloha apod.), faktory, které mohou ovlivnit měření (kabinová výška, teplota v kabině, vlhkost) a specifické úvahy ohledně aktivních a pasivních přístrojů (vibrace, elektromagnetické rušení letadlových přístrojů apod.)

ISO 20785- Validation of codes

zabývá standardizací validace kódů, dává základ pro schválení softwaru k výpočtu efektivní dávky obdržené na palubě letadla posádkou a pasažéry. Dává návod pro orgány radiační ochrany a pro vývojáře kódů na základní funkční požadavky, které musí kódy splňovat. Kód vyhovuje normě, pokud příkon $H^*(10)$ měřený podle ISO 20785-3 odpovídá vypočítanému $dH^*(10)/dt \pm 30\%$ v celém rozsahu R_c měření nebo celkový vypočítaný $H^*(10)$ se neliší od měřeného $H^*(10)$ více než o $\pm 30\%$ během celého letu

Závěry



- Kosmické záření (a další zdroje) způsobuje v letových výškách ozáření posádek
- Letecké společnosti jsou povinny monitorovat ozáření posádek letadel
- ÚJF poskytuje službu osobní dozimetrie pro české a slovenské letecké společnosti
- Nejvýznamnější profesní skupinu tvoří letecký personál na palubách letadel při letech ve výšce nad 8 km (pokud není COVID)
- Vedle GKZ jsou významnými zdroji také SEP a možná také bouřková radiace
- Měření na palubách letadel jsou pravidelně a dlouhodobě prováděna za účelem validace kódů a také proto, že směsné radiační pole na palubě letadla je unikátní příležitost pro otestování dozimetrických metod
- EURADOS a CRREAT připravují společný experiment REFLECT-P
- Skupina „ISO/TC85/SC2 - Dosimetry for exposures to cosmic radiation in civilian aircraft“ připravila 4 normy, 5. je v přípravě