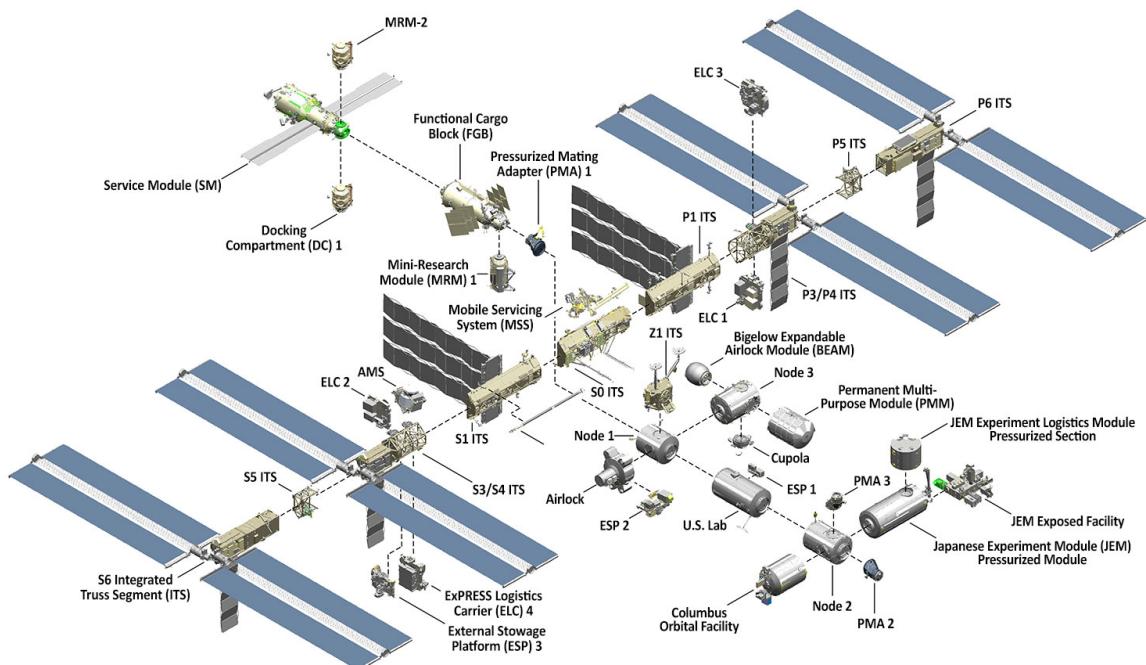


Obsah

Úvod	7
1 Kosmické záření v blízkém okolí Země	8
1.1 Zdroje kosmického záření v LEO	9
1.1.1 Galaktické kosmické záření	9
1.1.2 Zemské radiační pásy	10
1.1.3 Sluneční částicové události	11
1.1.4 Sekundární částice	12
1.2 Faktory ovlivňující kosmické záření v LEO	12
1.2.1 Fáze solárního cyklu	12
1.2.2 Inklinace orbity	12
1.2.3 Nadmořská výška	13
1.2.4 Východní/západní anizotropie zachycených protonů	13
1.2.5 Stínění stanice	13
2 Mezinárodní kosmická stanice	14
2.1 Modul Columbus	15
3 Experimenty DOSIS a DOSIS 3D	17
3.1 Rozmístění pasivních detektorů	17
3.2 Průběh experimentu	18
3.2.1 Vývoj nadmořské výšky a solárního cyklu	19

2. Mezinárodní kosmická stanice

Mezinárodní kosmická stanice (ISS, International Space Station) je družice lidského původu nacházející se v LEO. Obíhá Zemi na orbitě se sklonem dráhy 51° [10] v nadmořské výšce oscilující kolem 400 km rychlostí 28 800 km/h, což znamená, že celou Zem obletí každých 90 min [11]. Konstrukce stanice započala v roce 1998, od listopadu 2000 je permanentně obývána lidmi. Od roku 2009 je posádka šestičlenná, přičemž po šesti měsících se obměňují zpravidla dva její členové [10]. Při konstrukci stanice byly značně využívány americké raketoplány Space Shuttle, které se po dokončení stanice v roce 2011 přestaly používat. V současnosti je zásobování stanice obstaráváno ruskými kosmickými loděmi Soyuz.



Obr. 2.1: Struktura Mezinárodní kosmické stanice [8]. Modul Columbus je dole uprostřed.

Na obr. 2.1 je vidět struktura stanice. Páteří stanice je téměř 100 m dlouhý nosník, tzv. Integrated Truss Structure, ke kterému jsou připojeny fotovoltaické panely, moduly

ISS a další části. Stanice byla postavena postupným skládáním přímo na orbitě, což si vyžádalo desítky kosmických letů. Zatím poslední připojená část BEAM (Bigelow Expandable Activity Module, nafukovací modul) byla vynesena na orbitu v roce 2016 [9]. V tab. 2.1 jsou k dispozici základní parametry stanice.

Tabulka 2.1: Základní parametry ISS [8].

Délka stanice pod tlakem	73 m
Délka hlavního nosníku	109 m
Délka solárních panelů	73 m
Hmotnost	419 725 kg
Obytný objem	388 m ³ (bez zahrnutí navštěvujících vozidel)
Objem pod tlakem	916 m ³ (s BEAM modulem 932 m ³)
Zdroj energie	8 solárních panelů (84 kW)
Počet řádků počítačového kódu	přibližně 2 300 000

Stanice je rozdělena na ruskou a americkou část. Zatímco ruská podléhá výhradně Rusům, americká se skládá z modulů a konstrukcí evropských, japonských, kanadských a amerických. ESA (European Space Agency, Evropská kosmická agentura) je zodpovědná za modul Columbus a za ATV (Automated Transfer Vehicles, automacké transportní vozidla) [12]; podle dohod s NASA má ESA nárok na 51% využití zdrojů modulu Columbus [10].

ISS bude provozována minimálně do roku 2024 [14] a celkové náklady na vybudování, provoz stanice do tohoto roku, výzkum atd. jsou odhadovány na 100 miliard eur, z nich cca 8 miliard je či bude hrazena ESA, resp. jejími 10 členskými zeměmi podílející se na programu (Belgie, Dánsko, Francie, Neměcko, Itálie, Nizozemí, Norsko, Španělsko, Švédsko and Švýcarsko) [13].

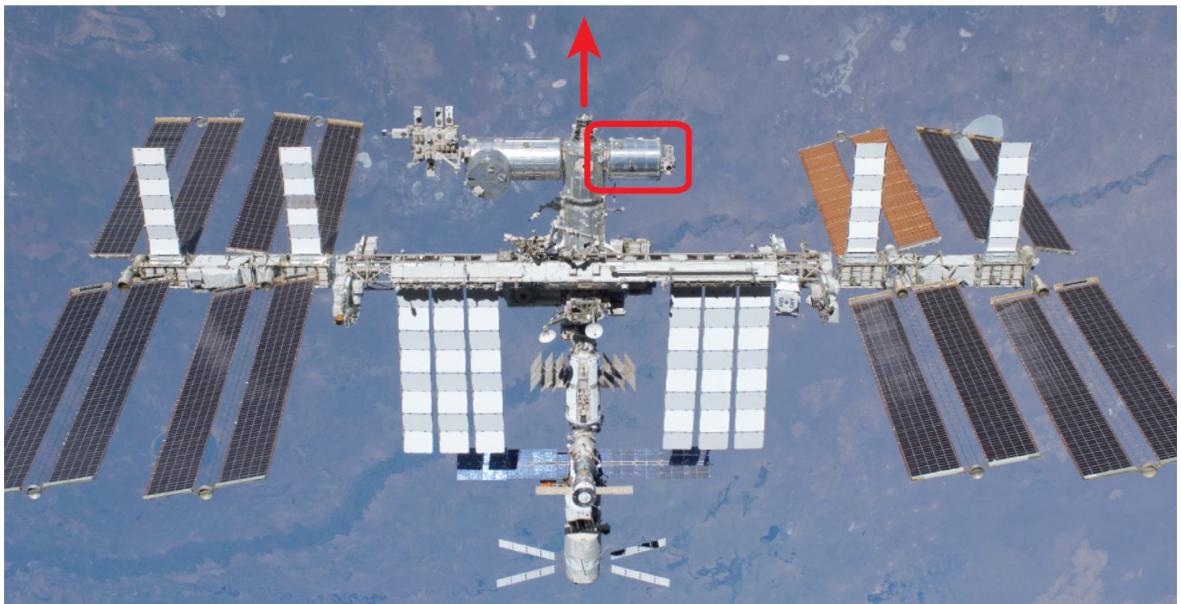
2.1 Modul Columbus

Modul Columbus je největším příspěvkem ESA k ISS.

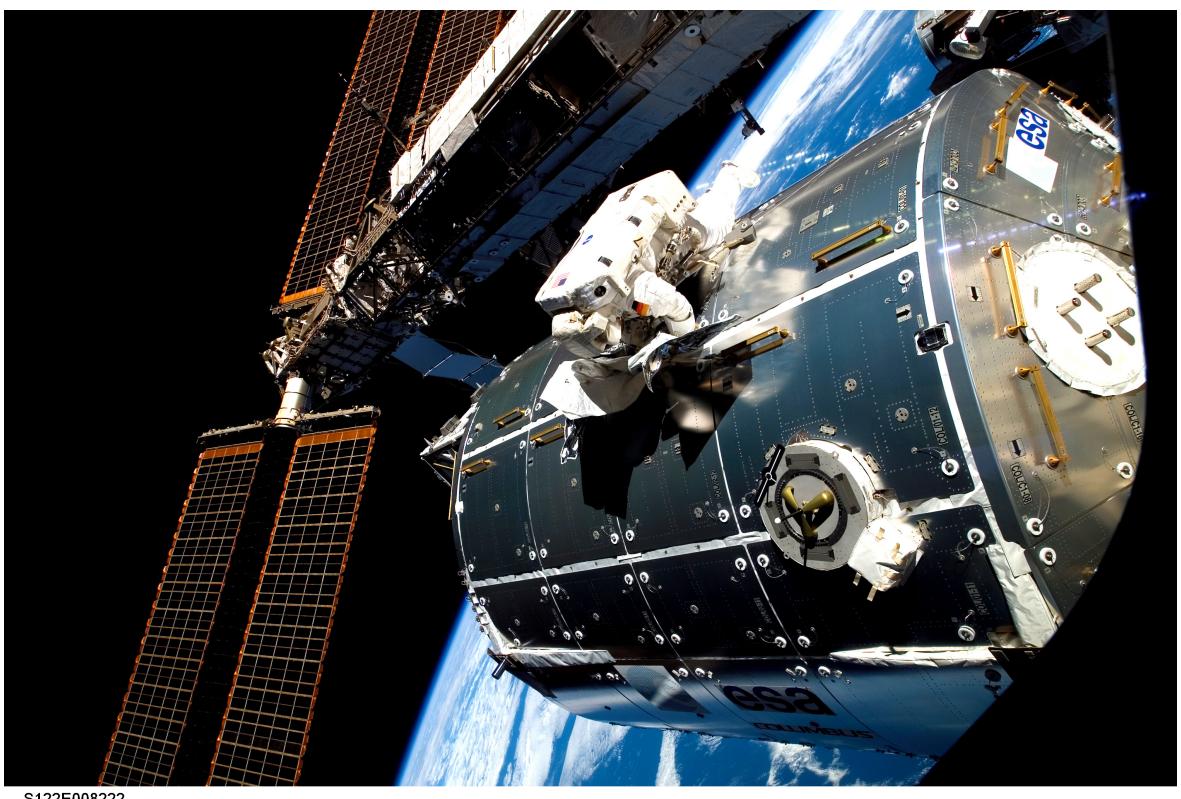
Jedná se o laboratorní modul zaměřený na výzkum v biologii, materiálových vědách, fyziku tekutin a další výzkumy v mikrogravitaci. Obsahuje deset skříňových modulů pro experimenty (International Standard Payload Racks), každý z nich poskytuje nezávislé ovládání energie, chlazení a také komunikaci s pozemními dispečery a vědci. Navíc na vnější straně laboratoře jsou čtyři plošiny, na které jdou umístit vědecké přístroje. Modul

je 7 m dlouhý, jeho průměr činí 4,5 m a váží 10 300 kg (vše jsou přibližné hodnoty). [17].

Právě v tomto modulu probíhají experimenty DOSIS a DOSIS3D.



Obr. 2.2: Poloha modulu Columbus v rámci ISS je vyznačena červeně; červená šipka zobrazuje směr letu ISS [2].



Obr. 2.3: Modul Columbus ve srovnání s astronautem [16].

3. Experimenty DOSIS a DOSIS 3D

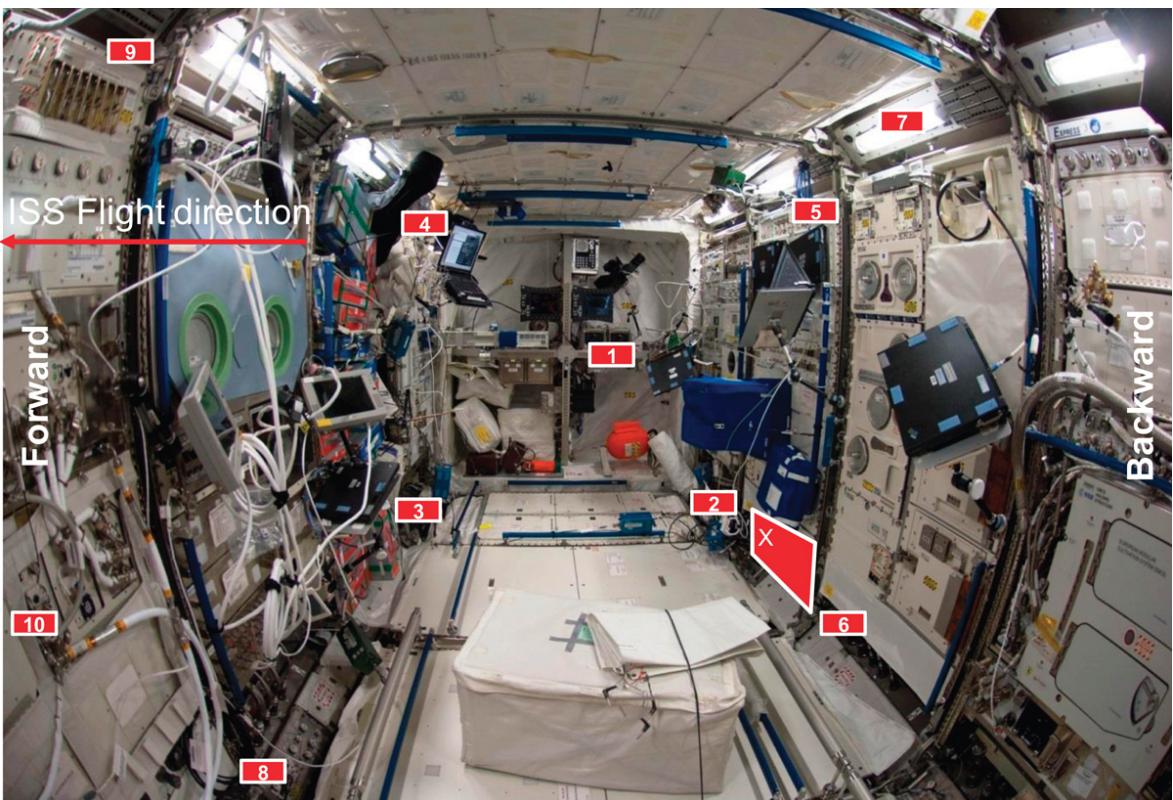
Informace v tomto oddíle byly čerpány ze zdrojů [2, 3].

Experimenty Evropské kosmické agentury DOSIS (Dose Distribution Inside the ISS, distribuce dávky uvnitř ISS) a DOSIS 3D probíhají roku 2009 za účelem vyšetření prostorové distribuce dávky v modulu ISS Columbus. Kýženým cílem bylo získání dat, která by vedla k vytvoření 3D modelu této distribuce.

Měření byla, respektive jsou prováděna pasivními a aktivními detektory, které jsou pevně umístěny v modulu Columbus. Pasivní detektory zajišťovaly určení prostorové distribuce dávky a dlouhodobého vývoje pole záření, aktivní naopak sloužily k určení časové závislosti pole záření. V případě aktivních detektorů se jednalo o dva detektory DOSTEL (DOSimetry TELEscope). V dalším textu se budeme zabývat pouze pasivními detektory.

3.1 Rozmístění pasivních detektorů

V rámci experimentu DOSIS, resp. DOSIS3D bylo v modulu Columbus rozmístěno jedenáct PDPs (Passive Detector Packages, balíčky pasivních dekorů), které obsahovaly termoluminiscenční detektory (TLD), opticky stimulované luminiscenční detektory (OSLD) a detektory stop v pevné fázi (CR-39). Na obr. 3.1 vidíme rozumístění PDPs; pět z nich je umístěno na čelní stěně, dalších šest na zadní stěně. Jedenáctý balíček označený symbolem X, též označovaný jako Triple PDP (trojitý PDP), je umístěn blízko aktivních detektorů a pokrývá větší plochu než ostatní PDPs. Osm PDPs je umístěno ve skříňových modulech (viz oddíl 2.1); více informací o umístění pasivních detektorů je k dostání v [2].

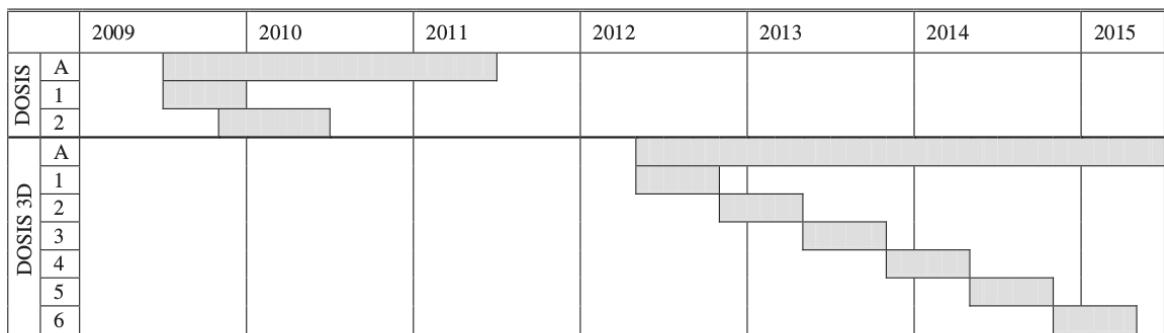


Obr. 3.1: Rozmístění jedenácti balíčků s pasivními detektory v modulu Columbus; jedenáctý je označen symbolem X a v jeho blízkosti jsou umístěny i aktivní detektory. Obrázek dále obsahuje šipku ukazující směr letu. [2]

3.2 Průběh experimentu

Experiment DOSIS probíhal mezi lety 2009 a 2011. Doba trvání experimentu DOSIS3D byla původně stanovena na rozmezí let 2012-2016, avšak v roce 2016 byla prodloužena a experiment stále běží. V rámci těchto experimentů bylo v modulu Columbus postupně upevněno 8 sad pasivních detektorů (DOSIS – dvě sady, DOSIS3D – šest sad). Každá sada obsahovala výše zmíněných 11 PDPs. V tab. 3.1 je vidět časový vývoj v obměně těchto sad a aktivních detektorů (ty byly pouze dva), tab. 3.2 pak obsahuje podrobnější informace o pasivních detektorech (dopravení na ISS, instalaci, doba používání, ukončení měření, návrat na Zem, nadmořská výška). První z experimentů započal 15. července 2009 startem raketoplánu Endeavor, na jehož palubě byla první sada pasivních detektorů spolu s aktivním detektorem DOSTEL-1. Jeho část skládající se z měření pasivními detektory skončila 26. května 2010 návratem druhé sady. Experiment DOSIS3D započal 15. května 2012 startem lodi Soyuz 30S.

Tabulka 3.1: Vývoj experimentů DOSIS a DOSIS3D v čase. Číslo na svislé ose označuje n-tou sadu pasivních detektorů, písmeno A značí aktivní detektor. [2]



Note. A = active measurements; DOSIS 1 and 2 = passive measurement phases; DOSIS 3D 1–6 = passive measurement phases.

Tabulka 3.2: Podrobný časový vývoj používaných sad pasivních detektorů (Phase). Tabulka dále obsahuje poměr doby měření a času, který detektor strávil na ISS (v procentech) a také nadmořskou výšku ISS pro každou sadu. [2]

	Phase	Timeline		Duration [days]	Coverage [%]	ISS altitude [km]
DOSIS	1	Launch (STS-127)	July 15, 2009	136 (127)	93.3	339–348
		Installation	July 18, 2009			
		Retrieval	November 21, 2009			
	2	Return (STS-129)	November 27, 2009			
DOSIS 3D	1	Launch (STS-129)	November 16, 2009	191 (178)	93.2	337–349
		Installation	November 21, 2009			
		Retrieval	May 18, 2010			
		Return (STS-132)	May 26, 2010			
	2	Launch (Soyuz 30S)	May 15, 2012	125 (113)	90.4	397–417
		Installation	May 21, 2012			
DOSIS 3D		Retrieval	September 11, 2012			
		Return (Soyuz 30S)	September 17, 2012			
	3	Launch (Soyuz 32S)	October 23, 2012	144 (137)	95.1	407–416
		Installation	October 27, 2012			
		Retrieval	March 13, 2013			
		Return (Soyuz 32S)	March 16, 2013			
DOSIS 3D	4	Launch (Soyuz 34S)	March 28, 2013	167 (156)	93.4	407–416
		Installation	April 03, 2013			
		Retrieval	September 06, 2013			
		Return (Soyuz 34S)	September 11, 2013			
	5	Launch (Soyuz 36S)	September 25, 2013	167 (156)	93.4	413–418
		Installation	October 01, 2013			
DOSIS 3D		Retrieval	March 06, 2014			
		Return (Soyuz 36S)	March 11, 2014			
	6	Launch (Soyuz 38S)	March 25, 2014	170 (161)	94.7	407–416
		Installation	March 27, 2014			
		Retrieval	September 05, 2014			
		Return (Soyuz 38S)	September 11, 2014			
DOSIS 3D	7	Launch (Soyuz 40S)	September 26, 2014	167 (161)	96.4	413–418
		Installation	September 27, 2014			
		Retrieval	March 09, 2015			
		Return (Soyuz 40S)	March 12, 2015			

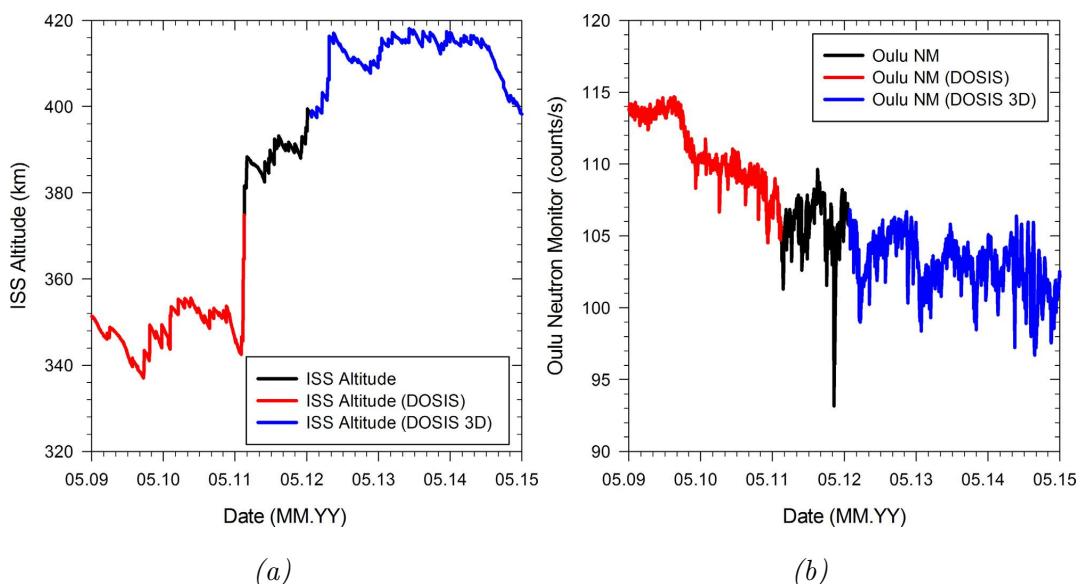
3.2.1 Vývoj nadmořské výšky a solárního cyklu

Naměřená data jsou ovlivněna řadou parametrů. Nadmořská výška a fáze solárního cyklu jsou jedny z nejvýznamnějších.

Na obr. 3.2a je znázorněn časový vývoj nadmořské výšky ISS. Pro DOSIS nadmořská

výška nabývala hodnot z intervalu [337, 375] km, pro DOSIS3D nabývala hodnot z intervalu [398, 417] km. V obrázku lze vypozorovat prudký nárůst z cca 340 km do 375 km, který se udál ke konci experimentu DOSIS; tehdy již měřily pouze aktivní detektory. Změna nadmořské výšky ovlivňuje ozáření stanice (viz oddíl 1.2.3).

Z informací v oddílu 1.2.1 plyne, že za solárního maxima je obdržená dávka nejmenší a naopak za solárního minima největší (za předpokladu stálosti ostatních parametrů ovlivňujících velikost obdržené dávky). To je znázorněno na obr. 3.2b, kde je zobrazena závislost četnosti detekovaných neutronů na čase. Experiment DOSIS probíhal za slunečního minima (2009 až 2011) a naopak experiment DOSIS3D probíhal za solárního maxima, které nastalo v letech 2013 a 2014.



Obr. 3.2: V (a) je časový vývoj nadmořské výšky ISS: červeně je vyznačen vývoj v rámci DOSIS, modře v rámci DOSIS3D; černě je označen vývoj nadmořské výšky v době, kdy neprobíhal žádný z experimentů. V (b) je naměřená četnost Oulu neutronovým monitorem, značení je stejné jako v (a). [2]

Seznam literatury

1. BENTON, E.R; BENTON, E.V.

Space radiation dosimetry in low-Earth orbit and beyond.

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. 2001, roč. 184, č. 1–2, s. 255–294.

ISSN 0168-583X. Dostupné také z:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168583X01007480>.

Advanced Topics in Solid State Dosimetry.

2. BERGER, T. et al. DOSIS & DOSIS 3D: long-term dose monitoring onboard the

Columbus Laboratory of the International Space Station (ISS).

J. Space Weather Space Clim. 2016, roč. 6, s. 39.

Dostupné také z: <http://dx.doi.org/10.1051/swsc/2016034>.

3. BERGER, THOMAS et al.

DOSIS & DOSIS 3D: radiation measurements with the DOSTEL instruments onboard the Columbus Laboratory of the ISS in the years 2009–2016.

J. Space Weather Space Clim. 2017, roč. 7, s. A8.

Dostupné z DOI: [10.1051/swsc/2017005](https://doi.org/10.1051/swsc/2017005).

4. NARICI, LIVIO; CASOLINO, MARCO; DI FINO, LUCA; LAROSA, MARIANNA;

PICOZZA, PIERGIORGIO; ZACONTE, VERONICA.

Radiation survey in the International Space Station. *J. Space Weather Space Clim.*

2015, roč. 5, s. A37. Dostupné z DOI: [10.1051/swsc/2015037](https://doi.org/10.1051/swsc/2015037).

5. DI FINO, LUCA et al. Solar particle event detected by ALTEA on board the

International Space Station - The March 7th, 2012 X5.4 flare.

J. Space Weather Space Clim. 2014, roč. 4, s. A19.

Dostupné z DOI: [10.1051/swsc/2014015](https://doi.org/10.1051/swsc/2014015).

6. AMBROŽOVÁ, I.; BRABCOVÁ, K.; SPURNÝ, F.; SHURSHAKOV, V. A.; KARTSEV, I. S.; TOLOCHEK, R. V.
Monitoring on board spacecraft by means of passive detectors.
Radiation Protection Dosimetry. 2011, roč. 144, č. 1-4, s. 605–610. ISSN 0144-8420.
7. PACHNEROVÁ BRABCOVÁ, K. *Study and development of track etch detectors for dosimetric purposes: dissertation thesis*. 2010. Disertační práce.
České vysoké učení technické v Praze, FJFI, Katedra jaderné chemie.
8. GARCIA, Mark. *Station Facts and Figures* [online]. 2016 [cit. 2017-04-17].
Dostupné z: <https://www.nasa.gov/feature/facts-and-figures>.
9. FICK, Hayley; JORDAN, Gary; SUMNER, Megan.
16 Years of Station Told in 16 Gifts [online]. 2016 [cit. 2017-04-21]. Dostupné z:
<https://www.nasa.gov/feature/16-years-of-station-told-in-16-gifts>.
10. WIKIPEDIA, Otevřená encyklopédie. *Mezinárodní vesmírná stanice* [online].
2017 [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Mezin%C3%A1rodn%C3%AD_vesm%C3%ADrn%C3%A1_stanice.
11. ESA. *Where is the International Space Station?* [online]. 2017 [cit. 2017-04-21].
Dostupné z: http://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/International_Space_Station/Where_is_the_International_Space_Station.
12. ESA. *About the International Space Station* [online]. 2013 [cit. 2017-04-21].
Dostupné z: http://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/International_Space_Station/About_the_International_Space_Station.
13. ESA. *How much does it cost?* [online]. 2013 [cit. 2017-04-22].
Dostupné z: http://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/International_Space_Station/How_much_does_it_cost.
14. MALIK, Tariq. *International Space Station Gets Life Extension Through 2024* [online].
2014 [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://www.space.com/24208-international-space-station-extension-2024.html>.
15. ESA. *A view of the European Columbus laboratory attached to the International Space Station* [online]. 2008 [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2008/02/A_view_of_the_European_Columbus_laboratory_attached_to_the_International_Space_Station.

16. ESA. *ESA astronaut Hans Schlegel works on Columbus exterior during the second spacewalk of the STS-122 mission* [online]. 2008 [cit. 2017-04-21].
Dostupné z: http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2008/02/ESA_astronaut_Hans_Schlegel_works_on_Columbus_exterior_during_the_second_spacewalk_of_the_STS-122_mission2.
17. WRIGHT, Jerry. *Station Facts and Figures* [online]. 2015 [cit. 2017-04-22].
Dostupné z: https://www.nasa.gov/mission_pages/station/structure/elements/columbus.html.