



# Česká technologická nanodružice VZLUSAT-1

V. Dániel<sup>a</sup>, A. Inneman<sup>bc</sup>, P. Svoboda<sup>a</sup>, T. Báča<sup>c</sup>, V. Zadražil<sup>a</sup>, V. Stehlíková<sup>c</sup>,  
O. Nentvich<sup>c</sup>, M. Urban<sup>c</sup>, P. Skala<sup>c</sup>, L. Sieger<sup>c</sup>, I. Vertat<sup>d</sup>, R. Linhart<sup>d</sup>, J.  
Masopust<sup>d</sup>, T. Jamroz<sup>a</sup>, M. Platkevič<sup>c</sup>, R. Filgas<sup>c</sup>,  
C. Granja<sup>a</sup>, L. Pína<sup>b</sup>, R. Pavlica<sup>e</sup>, A. Marek<sup>f</sup>, V. Folvarčný<sup>g</sup>,...



5M



Rigaku



THIN FILM  
TECHNOLOGICAL  
SERVICE

HVM  
PLASMA



FACULTY OF ELECTRICAL  
ENGINEERING  
UNIVERSITY  
OF WEST BOHEMIA



Czech  
Technical  
University  
in Prague



DENTEC  
přístroje jaderné techniky



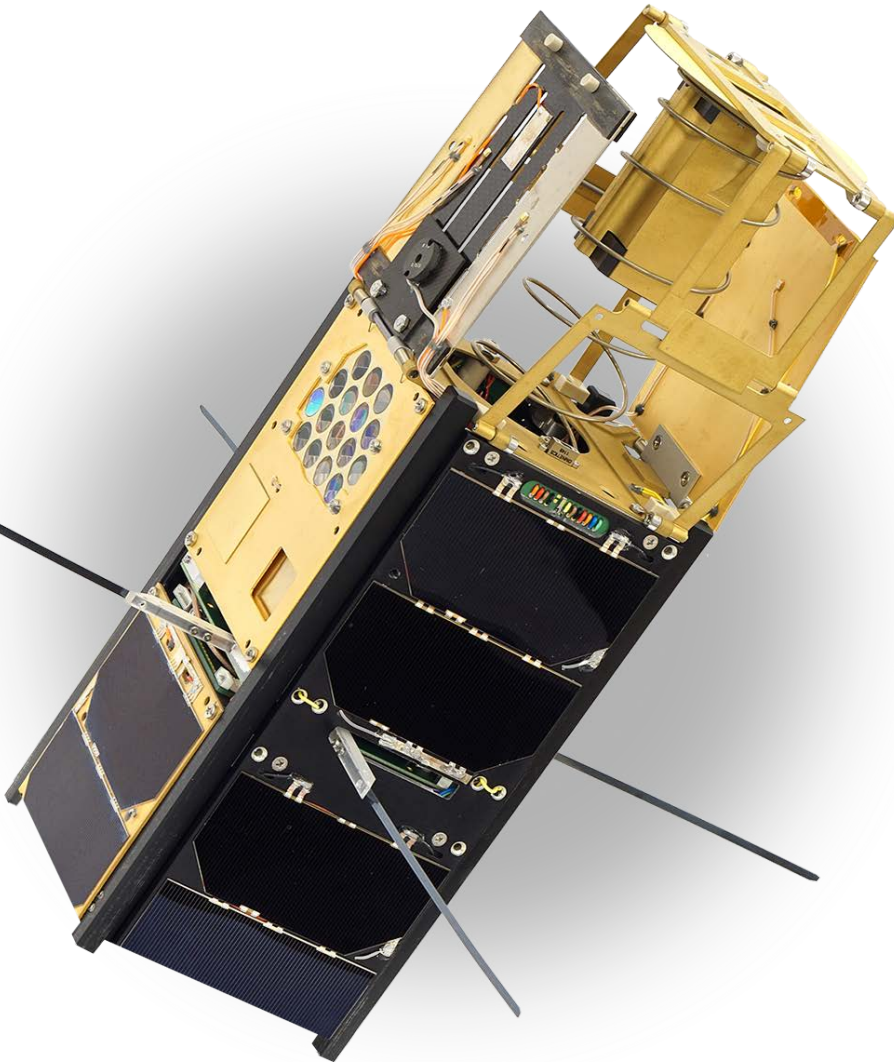
Frentech  
Aerospace  
member of  
Czech Aerospace Systems



- Úvod, mise
- Části CubeSatu
  - Platforma (EPS, OBC, Rádio, Anténa, ADCS)
- Testovací kampaň
  - Funkčnost, Vibrační testy, Rázové testy, Thermo-vakuové testy
- Start rakety s družicí
- Pozemní stanice, řízení provozu
- Experimenty na oběžné dráze
  - Radiační štít (MES, HM, těkavé látky, RRA, sluneční aktivita)
  - Miniaturizovaný rentgenový dalekohled (LE optika, Timepix)
  - Výzkum atmosféry - FIPEX



# Technologická nanodružice VZLUSAT-1



## Kompozitní materiál pro stínění kosmické radiace

- Solární panel na kompozitním substrátu
- RHCH zdraví monitorující sensory – teplota, těkavé látky, radiace, vibrace

## Miniaturizovaný rentgenový dalekohled

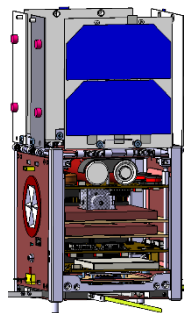
- Pozorování Slunce
- Pozorování Měsíce
- Astronomická pozorování
- Měření radiace kosmického pozadí
- TGF pozorování

## QB50 vědecký přístroj FIPEX

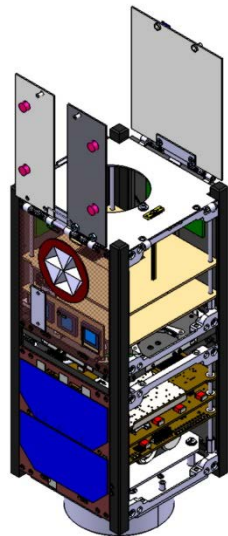
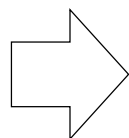
- Měření koncentrace kyslíku v atmosféře



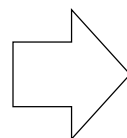
# VZLUSAT-1 vývoj v čase



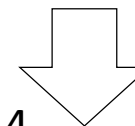
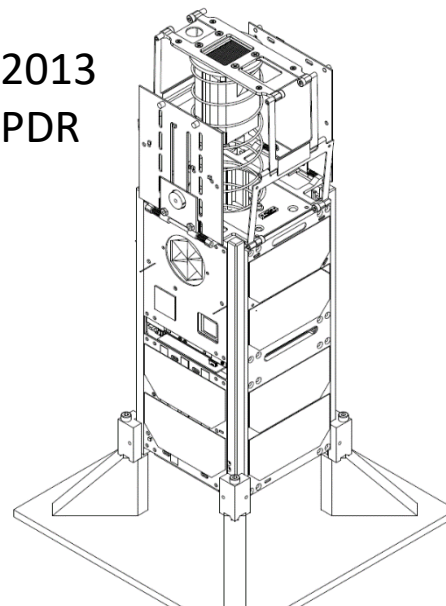
2011



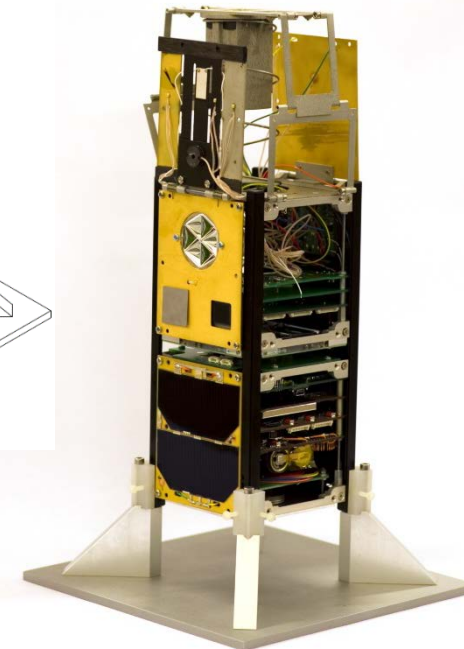
2012



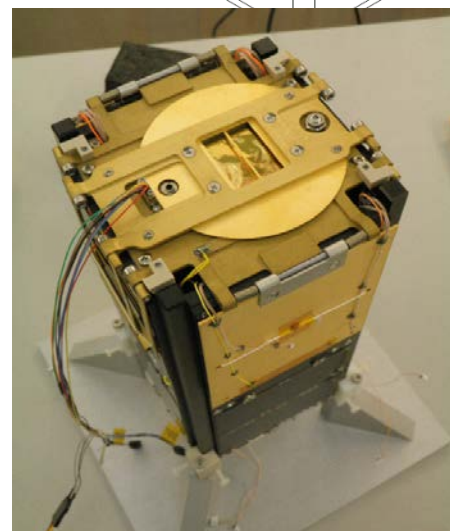
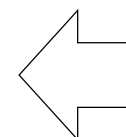
2013  
PDR



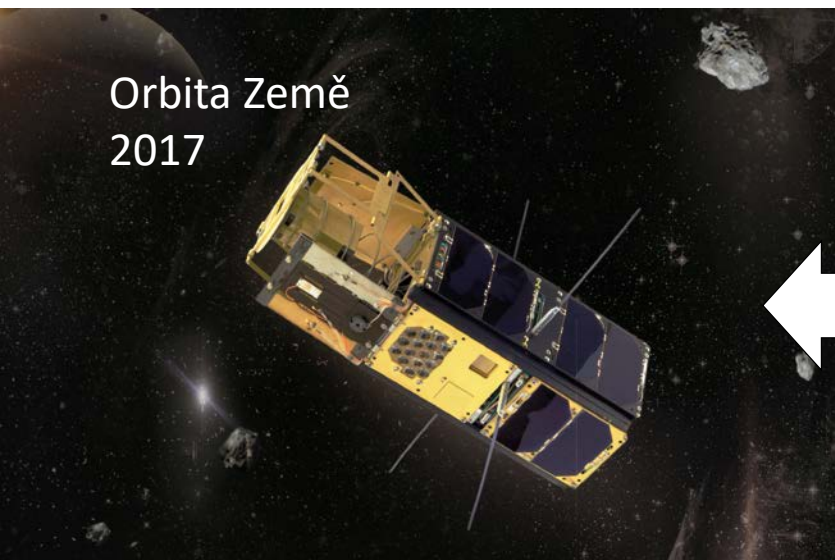
2014  
EQM



2015  
PFM



Orbita Země  
2017

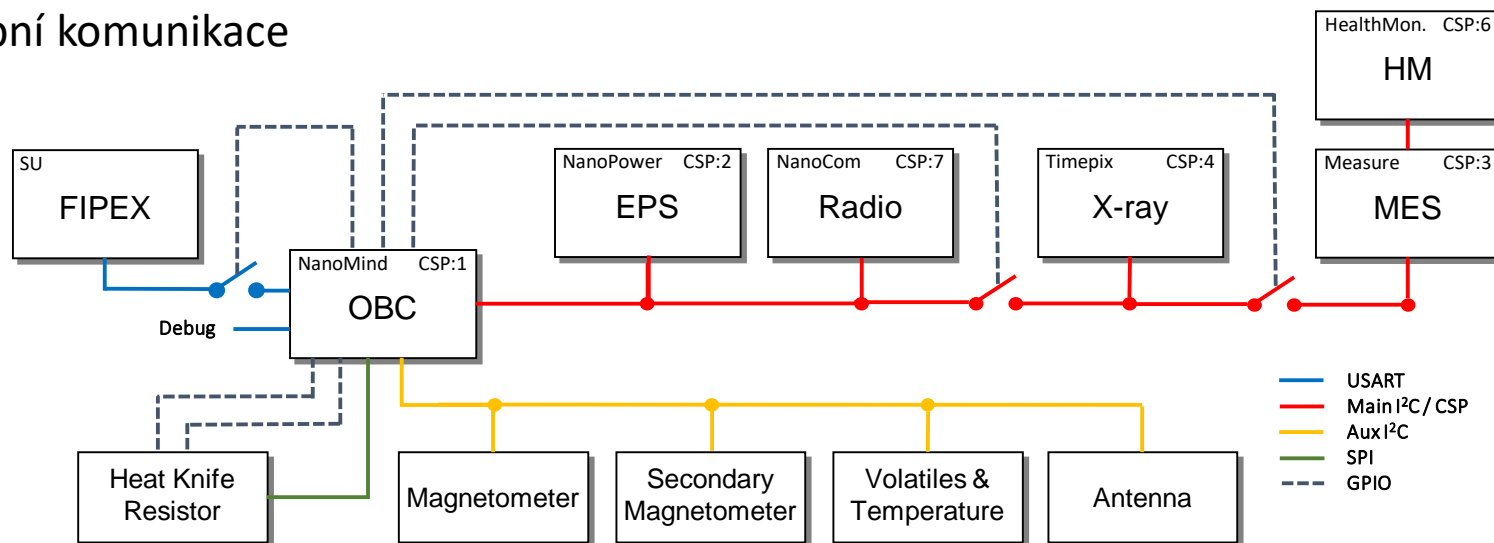






# Platforma Cubesatu

## Palubní komunikace



Hlavní I<sup>2</sup>C sběrnice je přiřazena tzv. CubeSat Space Protocol (CSP). CSP požaduje, aby I<sup>2</sup>C běžela v multi-master módu tak, že libovolné zařízení může být na chvíli masterem a může začít vysílat. Aby byla základní platforma životaschopnosti Payloadů zajištěna, jsou v základním nastavení odděleny od hlavní I<sup>2</sup>C sběrnice pomocí palubním počítačem (OBC) řízeným přepínačem.

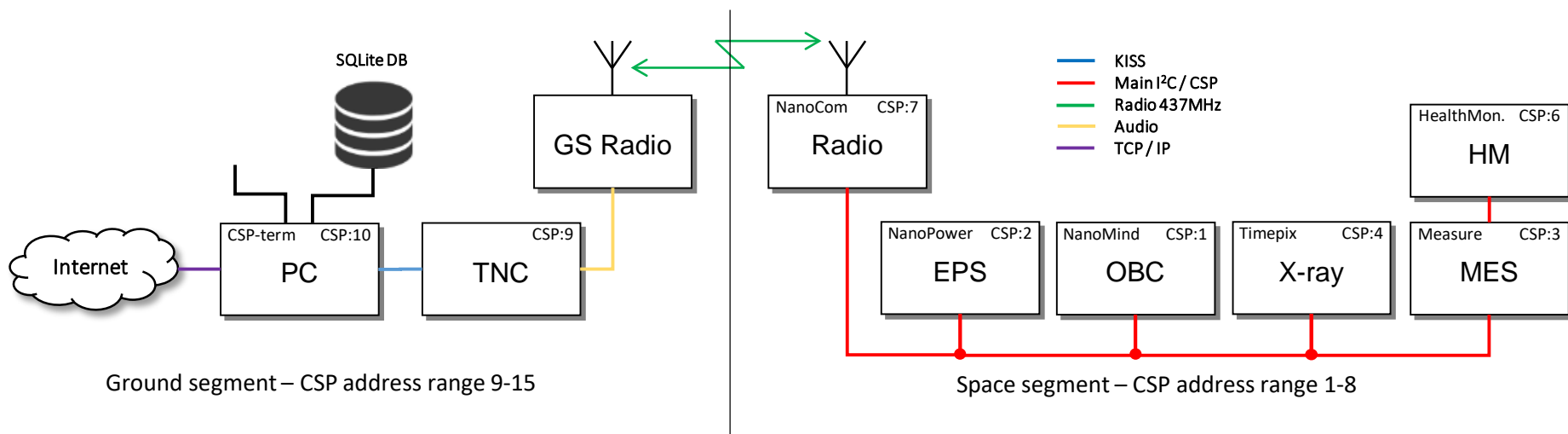
Druhá sběrnice I<sup>2</sup>C, nazývaná *přídavná*, je používána pro několik sensorů a mechanismu anténního uvedení do provozu. Přídavná I<sup>2</sup>C sběrnice běží v master-slave módu, kde OBC slouží jako master a všechny sensory jsou dotazovány.

OBC má dva sériové porty. Pouze jeden je správně osazen a je věnován vědecké jednotce – FIPEX. Druhý port je přístupný prostřednictvím ladícího konektoru.



# Platforma – GS Cubesatu

Komunikace satelitu ma zem

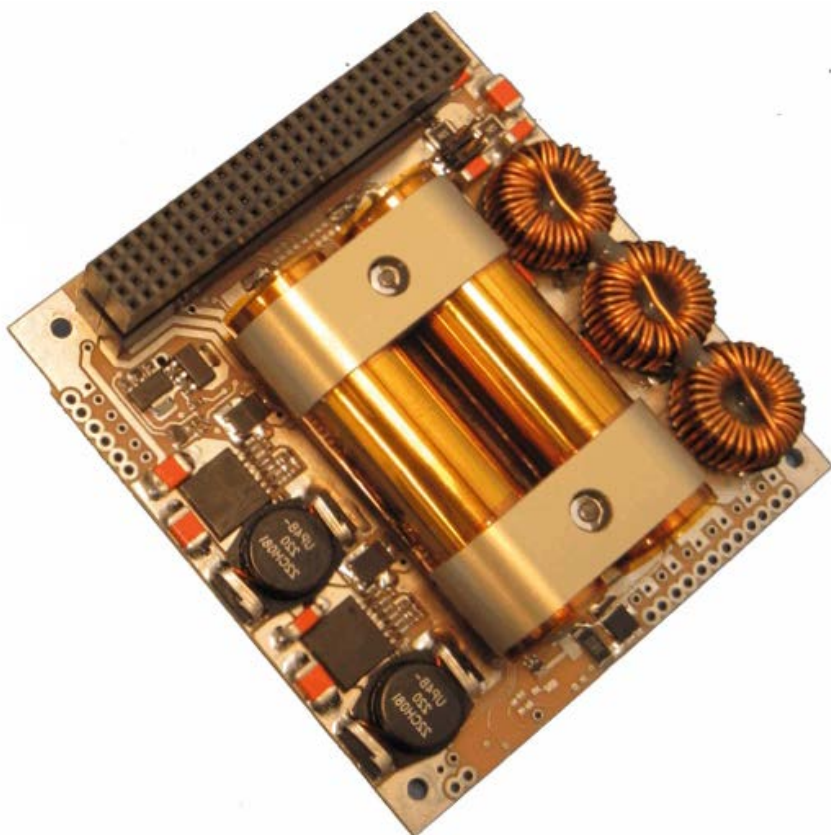


OBC používá CubeSat Space Protocol (CSP).  
Všechny příchozí zprávy musí být správně  
naformátované a označené platným CRC32  
kontrolním součtem, jinak budou ignorovány.  
Každý příkaz musí mít správný počet parametrů  
ve správném formátu, aby byl vykonán.



# Platforma EPS Cubesatu

## GomSpace NanoPower P31



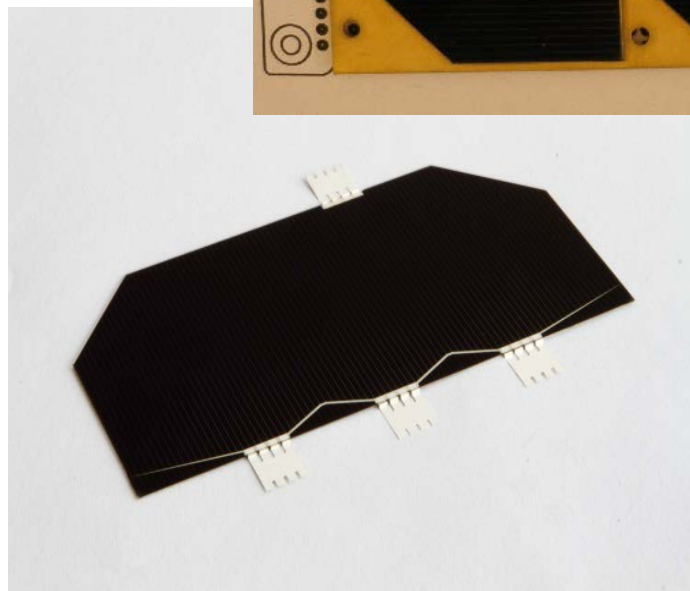
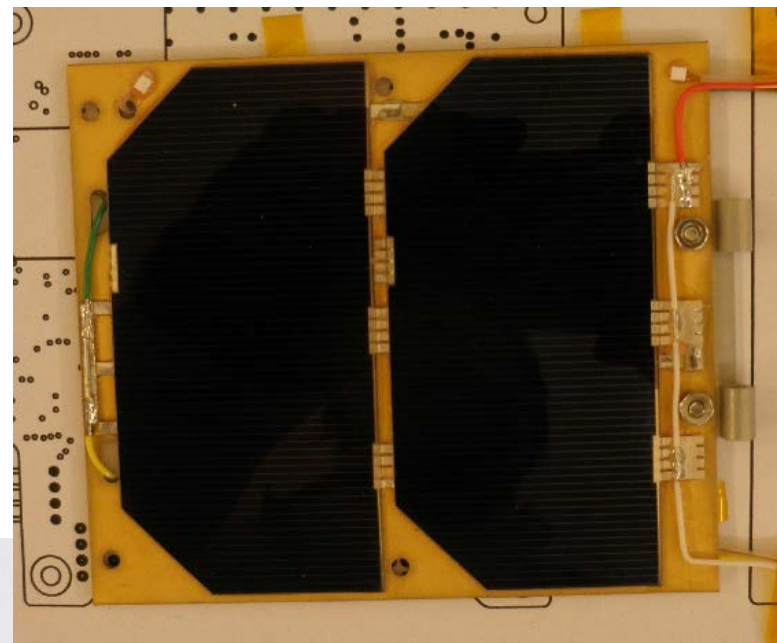
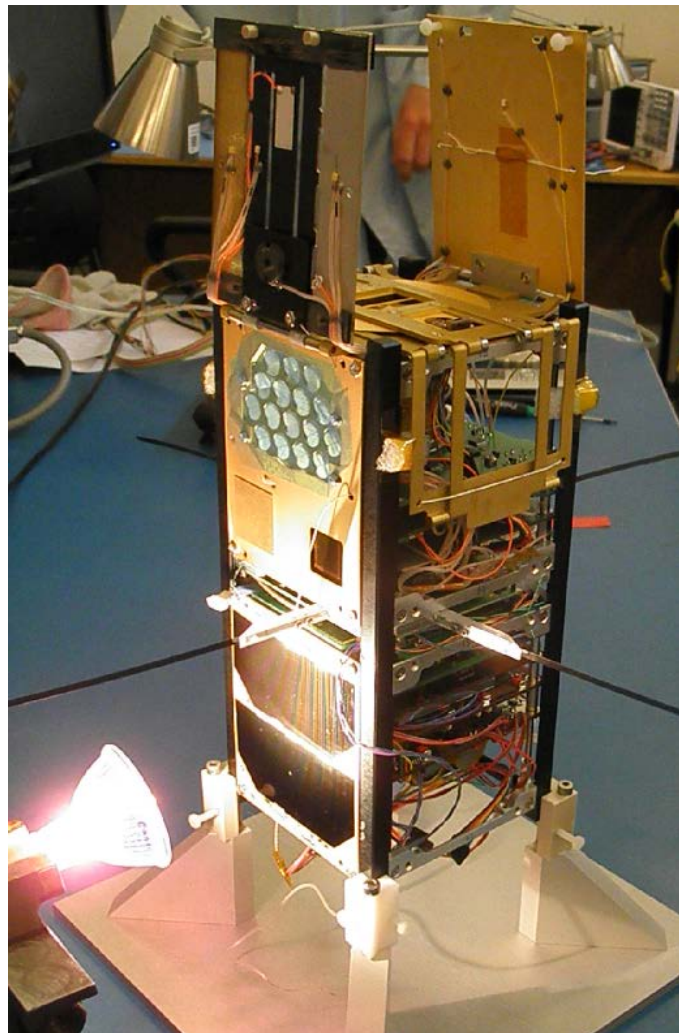
### Přehled vlastností

- Fotovoltaická konverze až do 30W.
- 93% průměrné účinnosti vstupní konverze.
- Tři odlišné možnosti pro fotovoltaický zdroj: Hardwarově fixní napětí, softwarově přizpůsobitelné napětí, či sledování maximálního výkonu.
- Pod-napěťová a nad-napěťová ochrana baterií
- Dvě regulovatelné napěťové sběrnice: 3.3V@5A a 5V@4A
- 3 uživatelem-řízené výstupní přepínače vztažené na napěťovou sběrnici s omezující proudovou blokadou
- Palubní udržovací měření
- Rozhraní dělicího přepínače s blokujícím mechanismem
- Rozhraní čipu pro odstranění před letem
- Palubní 1800 mAh lithium-iontové baterie
- Palubní mikrokontroler s I2C rozhraním
- Kompatibilní s Cubesatovým vybavením "PC104"



# Solární panely

## Solární panel na RHCH substrátu



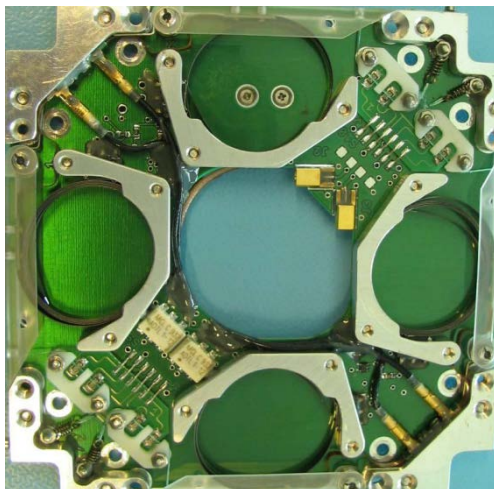
AZURSPACE  
30%  
Uspůsobení  
GaAs solárních  
článků s  
trojitou  
přípojkou





# Platforma Rádio a Anténa Cubesatu

GomSpace NanoCom U482C  
Antenna ISIS deployable UHF



## Přehled vlastností

- Napůl obousměrný UHF úzkopásmový FM vysílač
- Navrženo pro činnost v pásmu 435-437MHz
- MSK základní pásmo
- Horní linka: 1200-4800 bitů za sekundu
- Spodní linka: 1200-9600 bitů za sekundu
- CCSDS kostra složená z:
  - 32 bit ASM sběrače
  - Fixní délka přenosu (256 bytů)
- Palubní měření:
  - PCB a PA teplot
  - Napětí na bateriích
  - RSSI a RF-chyb na přijímači
- Nezávislý maják vysílající v Morseovém kódu když se nepřenáší data
- Uživatelem definovaný časový limit ve vysílání, intervalu a WPM
- Jednoduché CSP založené I2C rozhraní na 400kbps
- Kompatibilní s Cubesatovým vybavením "PC104"
- Provozní teplota: -30°C až +60°C



# Platforma OBC Cubesatu

## GomSpace NanoMind A712C



### Přehled vlastností

- Vysokovýkonný 32-bit ARM7 RISC CPU
- Kompatibilní s „FreeRTOS“
- Rychlost hodin: 8-40 MHz
- 2MB Statické RAM
- 4MB Datová paměť (Flash Memory)
- 4MB Kódová paměť (Flash Memory)
- 2GB podpora MicroSD karty
- 104-pin CubeSatKit sběrníkový konektor
- CAN sběrníkové rozhraní
- I2C rozhraní
- USART rozhraní
- RTC - real time clock w/záloha energie vystačí na 30-60 minut bez externího zdroje
- Palubní teplotní sensory
- 3-osové magnetoresistivní sensory
- 3 PWM dvousměrné výstupy 3.3-5V/±3A
- Rozhraní pro 6-analogových vstupů (např. sluneční sensory)
- SPI rozhraní pro např. gyroskopy
- Teplotní tolerance -40 až 85 °C.

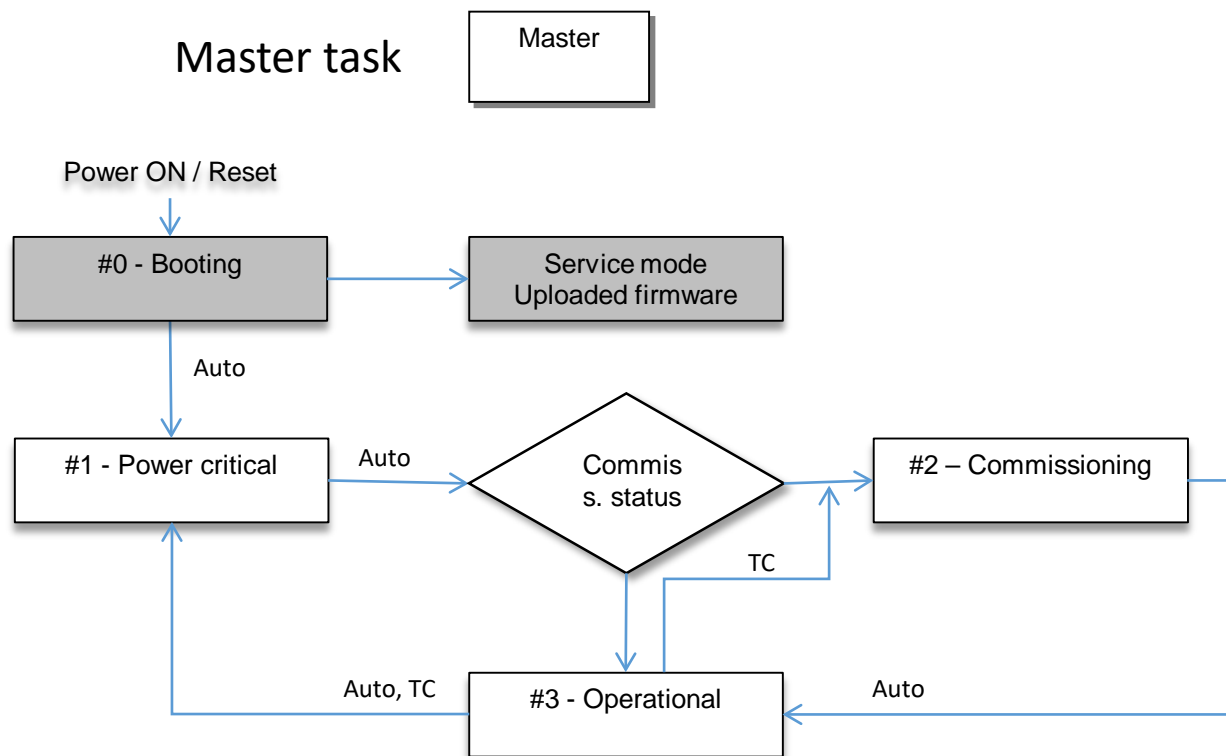


# Platforma OBC SW Cubesatu

OBC software

- FreeRTOS operační systém
- CSP (Cubesat Space Protocol)
- Multi master I<sup>2</sup>C
- Úlohy pro činnost

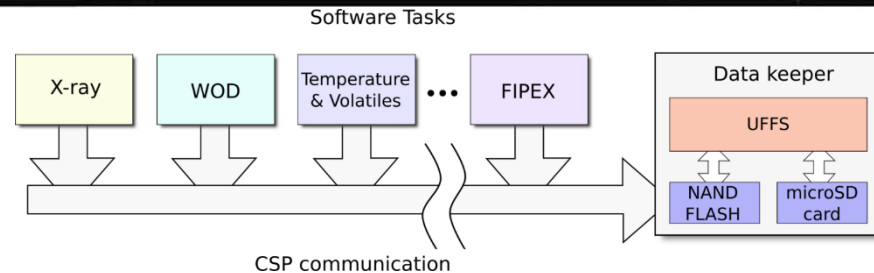
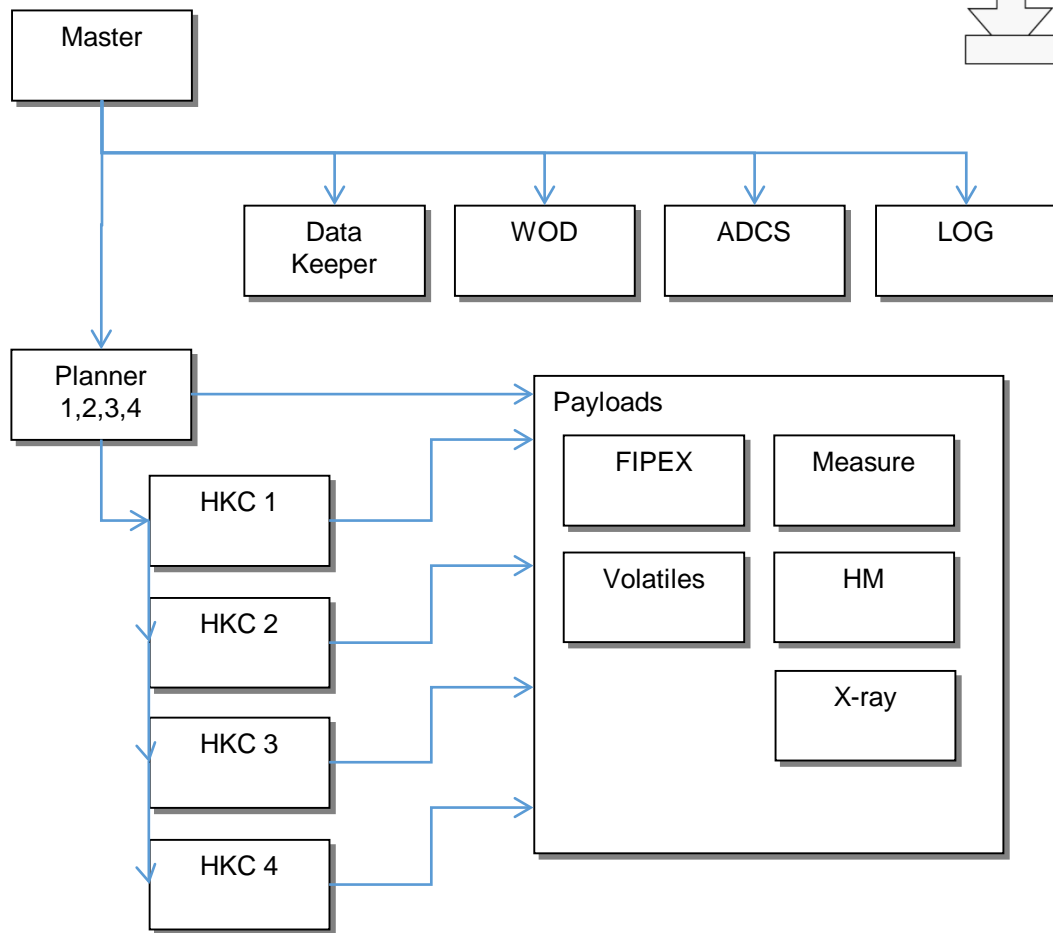
Palubní SW byl vyvinut ve VZLU.





# Platforma OBC SW Cubesatu

## Struktura úloh v OBC



## OBDH

- DataKeeper uchovává a spravovává data
- Flash a SD karta zrcadlí uschovaná data
- Úlohy zasílají data do DataKeeperu
- Payloady můžou pomocí CSP přímo zasílat data DataKeeperu
- GS používá DataKeeper

Kombinací plánovače a HCK se vytváří robustní operační možnosti pro řízení satelitu.





## Úloha plánovače

Planner

Úlohou plánovače je používat všechny palubní příkazy. Příkaz může být zaslán s možností vlajek (flags):

E – Exact

P – Permanent

R – Repeat

S – Sequence

Korekce času satelitem je velmi důležitá. OBC je vybaven RTC. Dle pozemních měření je RTC posunut v čase o cca 2 sekundy za den. OBC synchronizace času nastává každou minutu a bere v potaz také časový posun RTC. GS synchronizace času nastává během každého kontaktu s GS.

#	date	time	flags	command
	2016-03-21	16:00:00	P	dk rm 4 3
	2016-03-21	16:00:01	S	x pwr 1
	2016-03-21	16:00:05	RS	x cs
	2016-03-21	16:00:20	ES	x m
	2016-03-21	16:02:59	S	x hkd
	2016-03-21	16:03:00		x pwr 0



# Platforma OBC SW Cubesatu

## HKC - House Keeping Collector task



HKC task je spouštěn a ukončován plánovačem. Plánovač nastavuje opakovací čas, vyžaduje bitovou masku a zajišťuje přepínání payloadů.

HKC je užíván pro pravidelně se opakující měření. HKC je ve vláknu oddělená úloha a bitová maska pro definici měření. Bitová maska popisuje jednotlivé měřící příkazy. Příkazy jsou používány krok za krokem a sbírají úlohy. Poté jsou data zaslána do DataKeeper k uschování.

h	go	<inst> [permanent]	Start HKC instance
h	stop	<inst> [permanent]	Stop HKC instance
h	st	-	Get status of HKC instances
h	conf	<inst> <period> <start_time> <config>	Configure HKC instance
h	helper	-	HKC config helper



# Platforma ADCS Cubesatu

## Určení polohy a řídicí systém (Attitude determination and control system – ADCS)

QB50 požadavky:

- Určit polohu satelitu s přesností do 10 km
- Poloha má být udána v Zemi vycentrovaném a fixním (ECEF) souřadnicovém systému
- Návrat z koncového stupně do  $50^\circ/\text{s}$  v rámci 3 dnů
- Aktivní podnožiková kontrola orientace polohy během měření s FIPEXem s přesností  $\pm 10^\circ$  a znalostí  $\pm 2^\circ$ . Směr Z-ové osy by měl být směřován v RAM směru

ADCS úlohy:

- Vyhodnocení pozice satelitu
- Zabránění otáčení – snížení počáteční rotační energie – disipace rotační energie
- Aktivní orientace satelitu

ADCS senzory:

- Magnetometr
- Sekundární magnetometr
- Gyroskop
- Fotodiody

Aktivní orientace

- Magneto-natáčení



# Platforma ADCS Cubesatu

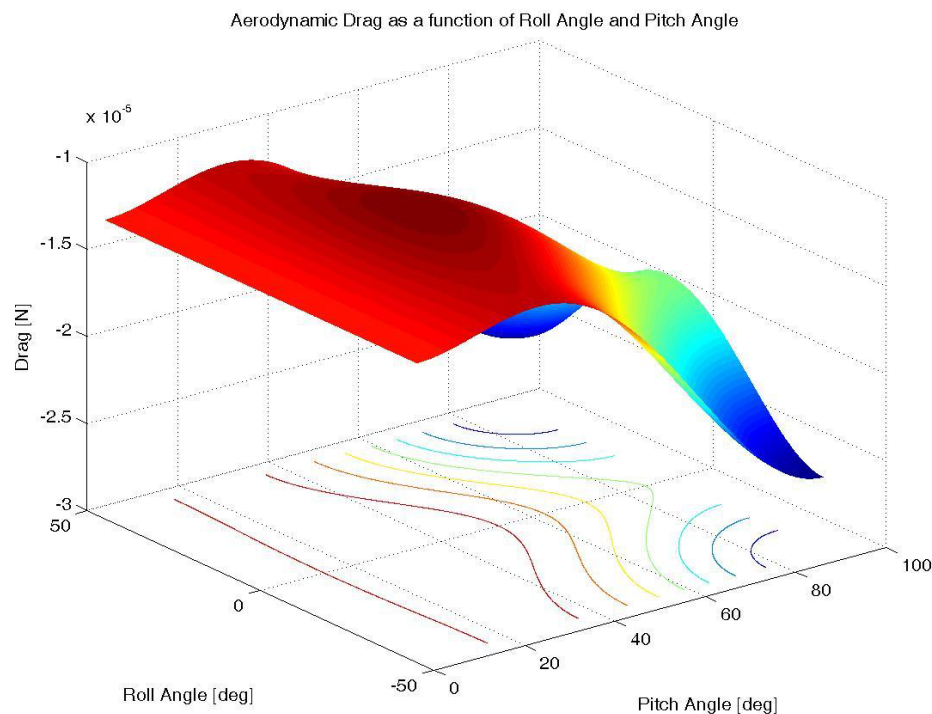
## Určení polohy a řídicí systém (Attitude determination and control system – ADCS)

Odchyšky v orbitě satelitu v důsledku:

- Atmosféry - Drag
- Slunečního záření – Radiační tlak
- Gradientu gravitačního zrychlení třetích těles: zejména Slunce a Měsíce

### Zabránění otáčení – snížení počáteční rotační energie

Zmírnění otáčení je založeno na snížení rotační energie. Pro snížení rotační energie je používáno magnetické pole (magnetické náklony). Aktivace nastává pod podmínkou kdy vektor úhlové rychlosti je v rozmezí +/-30 stupňů pro ideální pozici např. kolmo k vektoru magnetického pole Země







## Vyhodnocení pozice satelitu

Požadavek na “Určení pozice satelitu s přesností do 10 km” vede na:

- GPS receiver nebo
- Satelitní lokalizační software - SGP4 s přesným palubním časem (1s časové nejistoty odpovídá přibližně 7km nejistoty v určení pozice)

SGP4 výpočetní čas na PC intel I7 core je okolo 3s.

Zabudovaný software pro vyhodnocení pozice byl vyvinut. Je založen na počítání pozice z redukováných TLE orbitálních parametrů a redukováného orbitálního modelu. Parametry modelu musí být nahrány regulérně každých 12 hodin tak, aby byla zajištěna přesnost v pozici satelitu na úrovni 4 km.

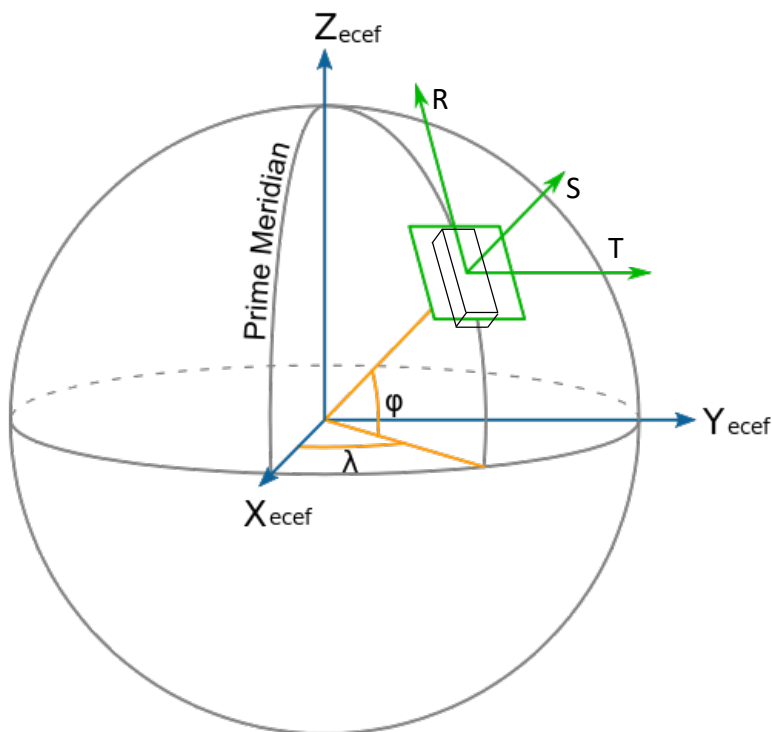
Zabudovaný software počítá čas na OBC 1ms.



# Platforma ADCS Cubesatu

## Vyhodnocení orientace satelitu

Poloha/orientace satelitu způsobí transformaci referenčního systému do požadovaných místních souřadných systémů satelitu v 3D. Poloha může být vyjádřena jak rotací matice mezi dvěma souřadnými systémy, tak ekvivalentní čtveřicí reprezentací příslušející operaci rotace.



Globální, např., Earth Centered, Earth Fixed (ECEF) je Zemí centrovaný a Zemí fixovaný souřadnicový systém polohy. Místní, např., koordinovaný systém definovaný tangentou, normálou a binormálou oběžné dráhy satelitu. Poloha (ATTITUDE) má být definována v místních horizontálních, místních vertikálních souřadnicovým systémem (RST).

R směřuje ve směru letu, S směřuje směrem k zemi (NADIR) a T je definováno dle pravidla pravé ruky ortogonálního souřadnicového systému

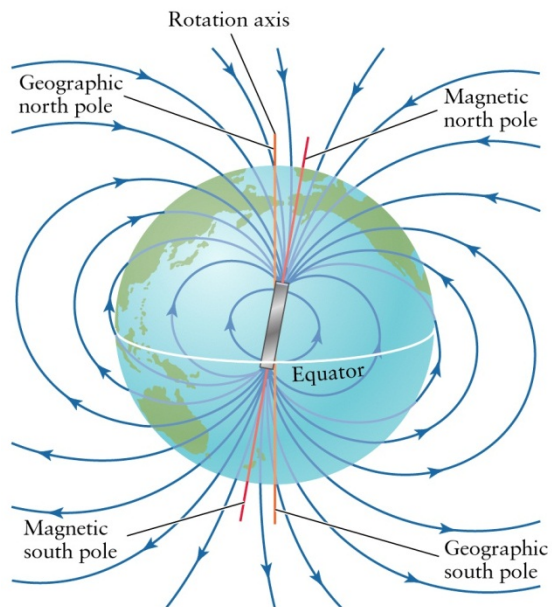
Požadovaná nominální orientační čtveřice je  $[-0.5, -0.5, 0.5, 0.5]$  reprezentující rotaci R, S, a T os místní orbitální trajektorie do os x, y, z tělesa spjatého se souřadným systémem satelitu.



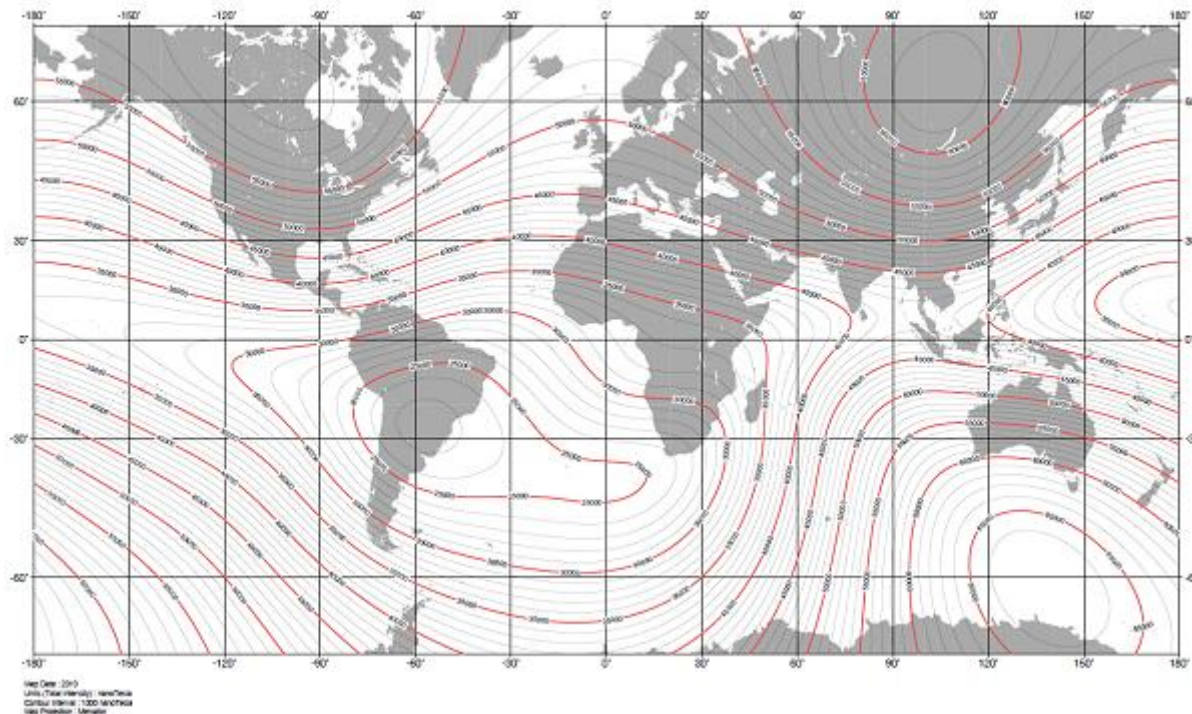
# Platforma ADCS Cubesatu

## Vyhodnocení orientace satelitu

Software domácí výroby pro určování orientace byl vyvinut. Je založen na 3D měřeních magnetického pole Země. Z vývoje času (alespoň 3 měření) mohou být určeny 4 komponenty čtyř kritérií.



International Geomagnetic Reference Field Model -- Epoch 2010  
Main Field Total Intensity (F)

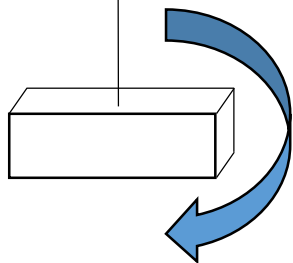




# Platforma ADCS Cubesatu

## Aktivní kontrola orientace

1,5m



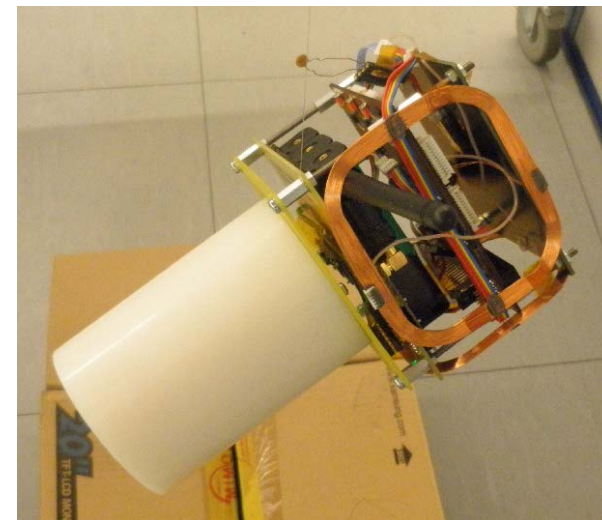
“Volně” rotující satelit

### ADCS senzory

- Magnetometr
- Secundární magnetometr
- Gyroskop
- Fotodiody

### Aktivní orientace

- Magnetické-náklony

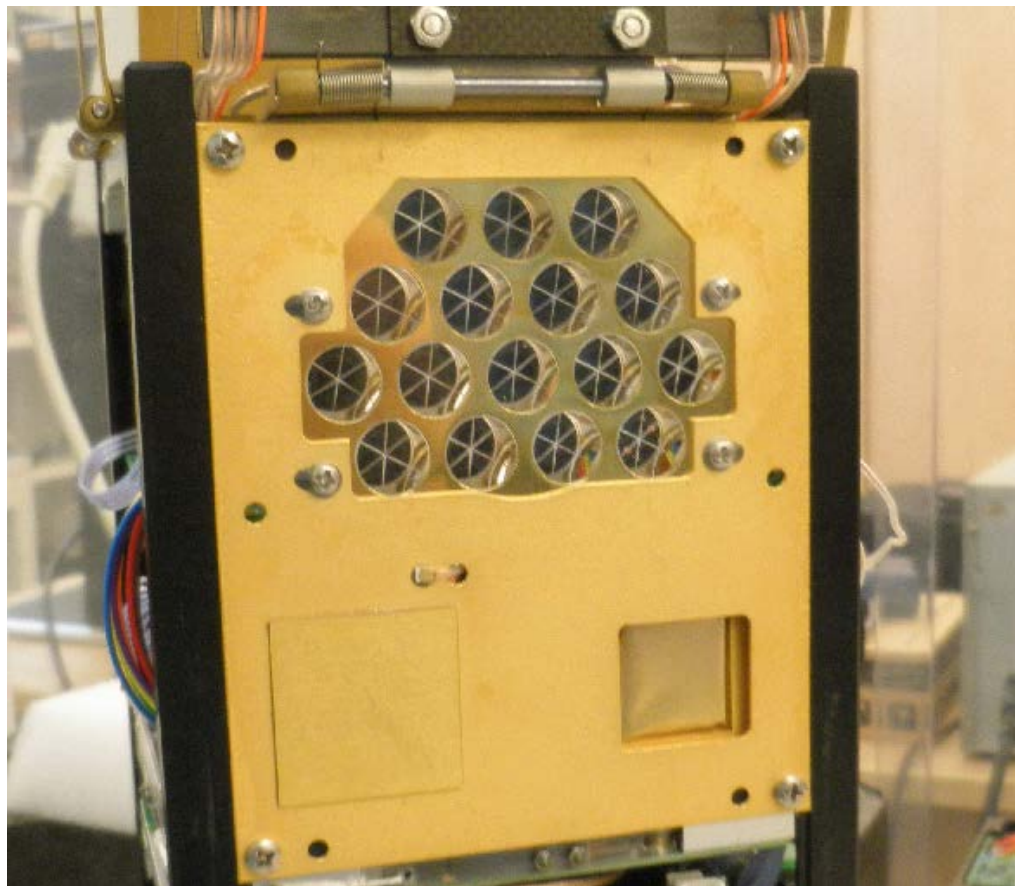






# Koutové odražeče Cubesatu

**Pole koutových odražečů  
(Retro Reflector Array - RRA)**



RRA je optický element používán pro přesné sledování satelitu ze Země prostřednictvím laserových stanic (Satellite Laser Ranging - SLR) .





# Montáž družice VZLUSAT-1



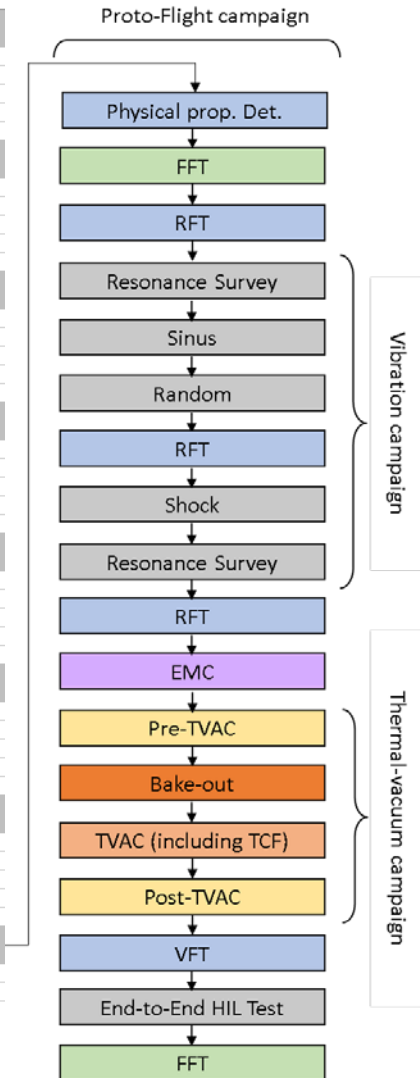
Sestavení proběhlo mnohokrát během funkčního testování. Důvodem je rozdíl mezi EGSE uchycením a PFM uchycením. Vyjma platform (EPS, OBC, Rádio a anténa) všechny desky byly vyvinuty v rámci institutu.



# Testovací kampaň

Month	Day	Plan	Persons											TV chamber	Tent
			VD	VZ	AI	PS	VS	MU	ON	TB	MP	IV	TJ		
January	1		M změněné na mobilu												
	2														
	3														
	4	Preparing of the plans													
	5														
	6	Assembly	x	x		x	x	x	x						
	7	Assembly	x			x	x	x							
	8	Assembly	x			x	x	x	x						
	9														
	10														
	11														
	12														
	13		x		x	x	x	x			x		x		
	14	Radio test	x			x					x				
	15	Radio test	x			x	x	x	x		x				
	16														
	17														
	18														
	19														
	20	Radio test	x		x	x	x	x	x					x	
	21	FFT X-ray	x		x	x	x	x	x	x	x		x		
	22	dokončení FFT X-ray	x		x	x	x	x	x	x	x		x		
	23														
	24														
	25														
	26														
	27	FFT X-ray	x		x	x	x	x	x						
	28	FFT HM	x		x	x	x	x	x				x		
	29	ADCS Detumbling	x	x		x								x	
	30														
	31														
February	1														
	2														
	3	MES	x			M	x	x	x						
	4	FFT MES	x		x	x	x	x	x	x	x		x		
	5	MES teplota final				x	x	x	x	M	M		x		
	6														
	7														
	8														
	9	Assembly, RBf	x			x	x								
	10	FFT MES teplota, příprava radio test	x		x	x	x	x	x		x	x		x	
	11	Final Radio test, TV=-15°C	x			x					x		x		
	12	FFT MES HM TV	x			M	x	x	x				x	x	
	13														
	14														
	15	FFT MES XRB, CdTe				M	x	x	x						
	16	Assembly, Photo	x			x									
	17	Detumbling, Radio	x			M	x	x	x					x	
	18	Locking antenna, HAL2	x			x	x	x	x					x	
	19	Final Assembly PFM, locking all	x	x		x	x	x	x	x	x			x	
	20														
	21														
	22	MES FFT					x	x	x						
	23														
	24	Final Assembly PFM	x				x	x	x					x	
	25	Final Assembly PFM, locking all	x			M	x	x	x					x	
	26	Final Assembly PFM, locking all	x			M	x	x	x					x	
	27														

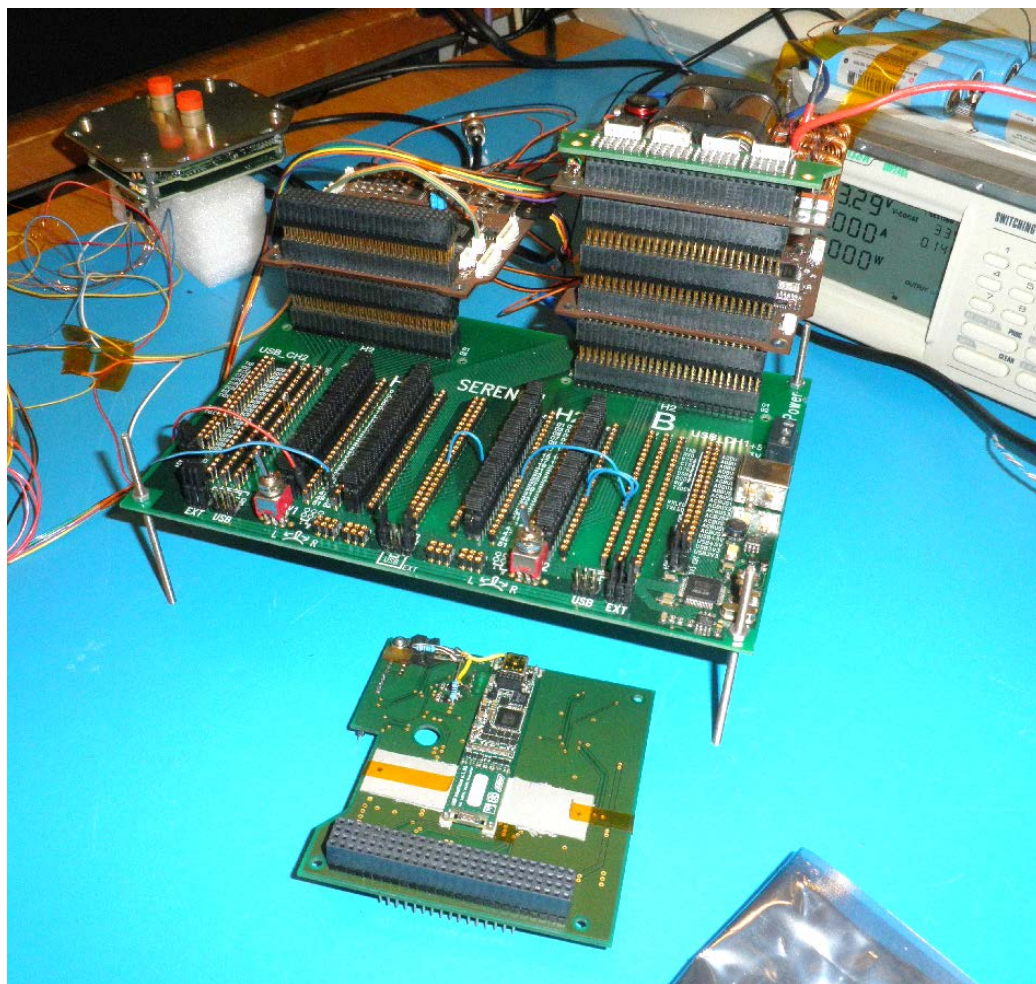
Month	Day	Plan	Persons											TV chamber	Tent
			VD	VZ	AI	PS	VS	MU	ON	TB	MP	IV	TJ		
	27														
	28														
	29														
March	1	arelace				x	x	x	x						
	2	arelace				x	x	x	x						
	3	demontáž				x	x	x	x						
	4														
	5														
	6														
	7	montáž	x			x		x							
	8														
	9	Resonance search:quasistatic				x	x	x					x		
	10	Shock	x			x	x	x					x		
	11	Vibration test+SFT	x			x	x	x					x		
	12														
	13														
	14	Vibration test+SFT											x		
	15	Vibration test+SFT											x		
	16	TV test	x			x	x	x					x	x	
	17	TV test	x			x	x	x					x	x	
	18	TV test	x			x	x	x					x	x	
	19	TV test											x		
	20	TV test											x		
	21	SFT	x			x	x	x					x		
	22	FFT PIPEX ?				x									
	23	FFT PIPEX				x		x							
	24	User manual	x					x							
	25														
	26														
	27														
	28														
	29	Test reports	x										x		
	30														
	31	Plannerscripty: úkol	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	
April	1														
	2														
	3														
	4														
	5														
	6														
	7	Porada - SW	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	
	8														
	9														
	10														
	11														
	12														
	13														
	14														
	15														
	16														
	17														
	18														
	19	CubeSat delivery													
	20														







# Funkční testování



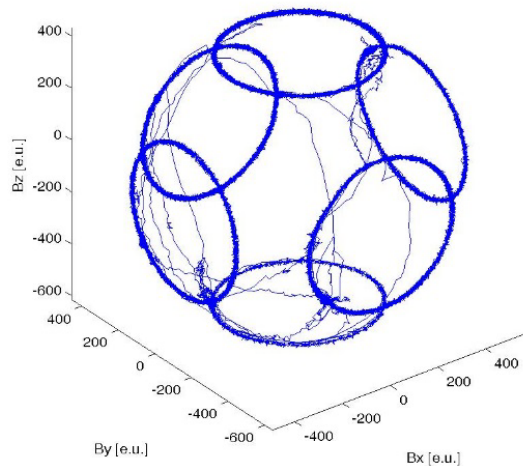
Kompletní funkční testování proběhlo na všech individuálních subsystémech/deskách před sestavením. Funkční testování systému začalo individuální deskou. Další rozhraní mezi dvěma a více deskami je provedeno. Mnoho sad je testováno (pouze OBC, OBC s EPS, OBC s EPS s Radio, OBC s Payloady, atd). Elektrické vlastnosti jsou měřeny spolu s SW kontrolou funkcí. Konečně letová konfigurace je sestavena a testována.

- Krátký funkční test (SFT)
- Kompletní funkční test (FFT)
- Konec do konce HIL test (HIL)



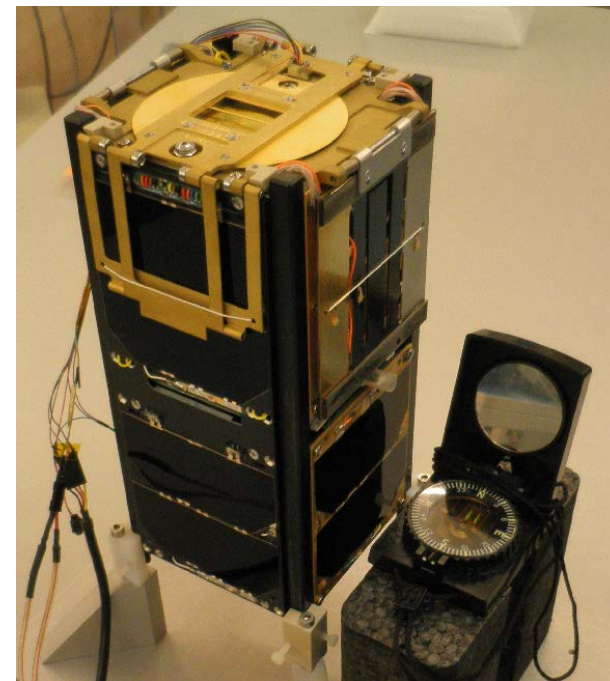
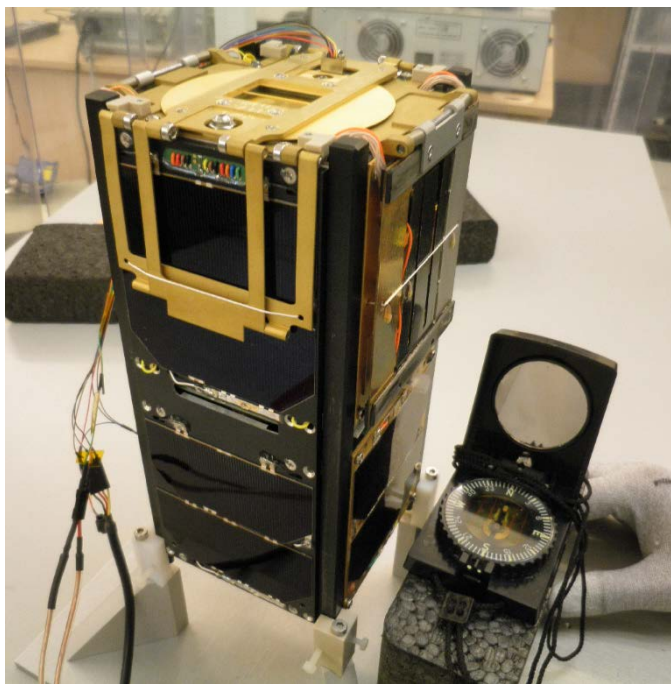
# Funkční test – ADCS

Kalibrace magnetometru



Kalibrace poskytuje offsetové hodnoty pro x, y, z komponenty měření magnetického pole a škáluje matici umožňující výpočet skutečných komponentů z naměřených dat

Funkční test cívek po integraci PFM.

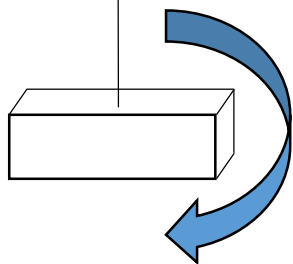




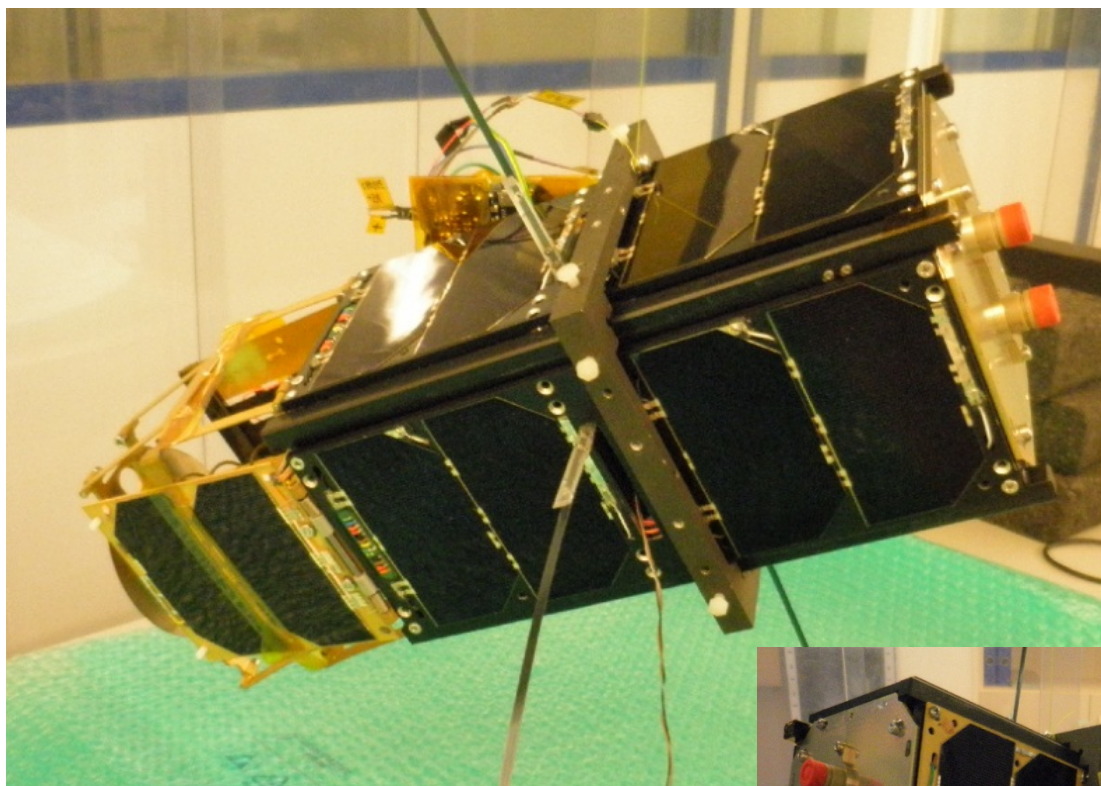


# Funkční test – ADCS

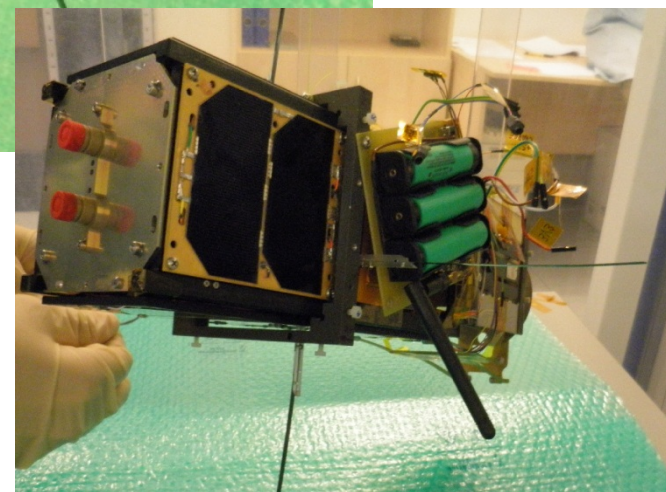
1,5m



“Volně” rotující  
satelit



Zevrubné testování indukčních magnetických aktuátorů je nezbytnou prerekvizitou pro aktivní stabilizaci na oběžné dráze. Test s osciloskopem a kompasem byl proveden.



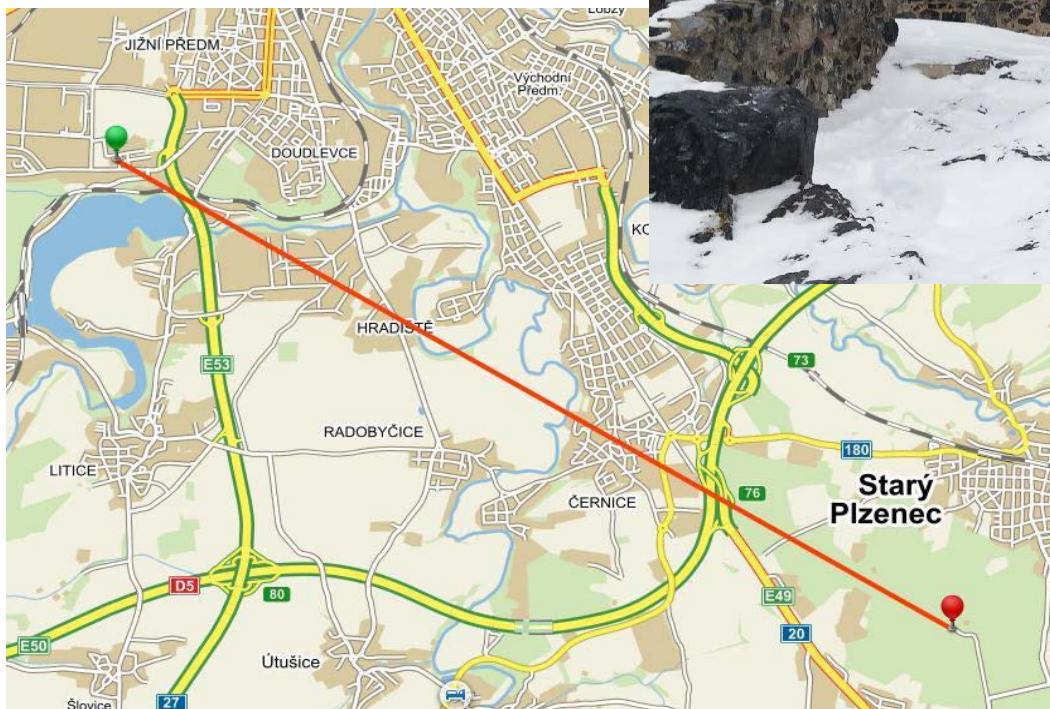




# Funkční testování - rádio

Rádiový test z kopce Radyně

- vzdálenost 10km







# Funkční testování - rádio

Rádiový test z kopce Brno – vzdálenost 25km





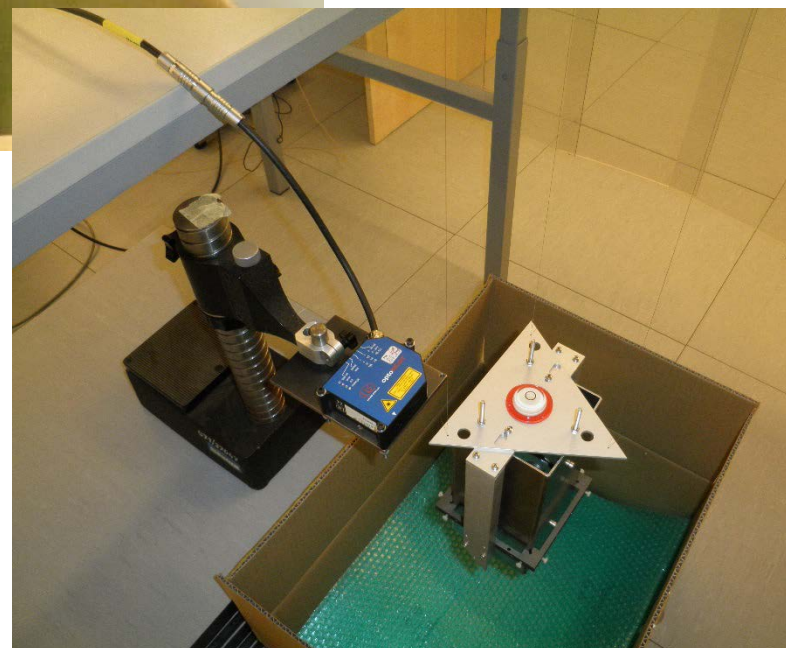


# Určení fyzikálních vlastností



2m

Momenty setrvačnosti byly určeny s použitím torzního kyvadla s trojitým uchycením a rekonfigurovatelným uchycením jehož jedna konkrétní konfigurace je ukázána na obrázku. Momenty setrvačnosti  $J_{xx}$ ,  $J_{yy}$ ,  $J_{zz}$ ,  $J_{xy}$ ,  $J_{yz}$  a  $J_{xz}$  mají být spočteny z vzájemně určených trojic uchycených torzních oscilačních frekvencí.

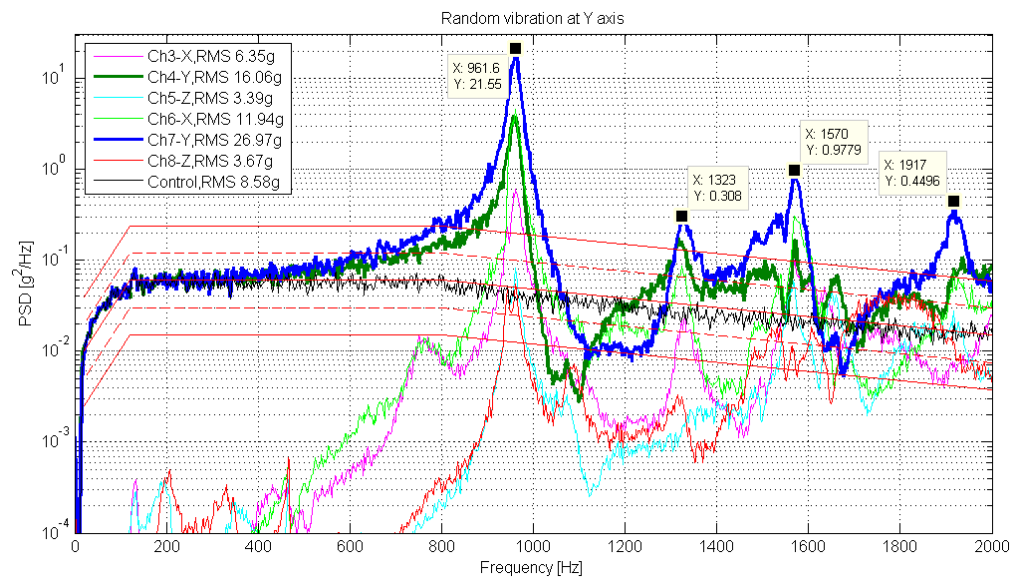
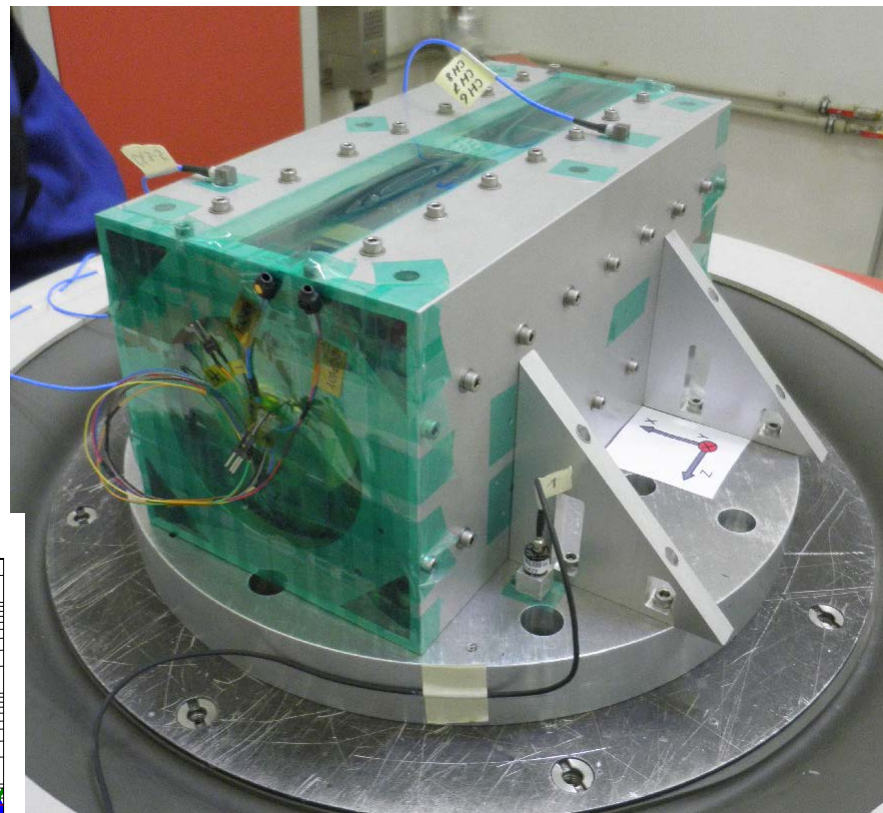




# Testování vibrací

Náhodné vibrace jsou přítomny.

Freq. (Hz)	Required amplitude ( $g^2/Hz$ )	Required base acceleration (g RMS)
20	0.01125	8.03
130	0.05625	8.03
800	0.05625	8.03
2000	0.015	8.03



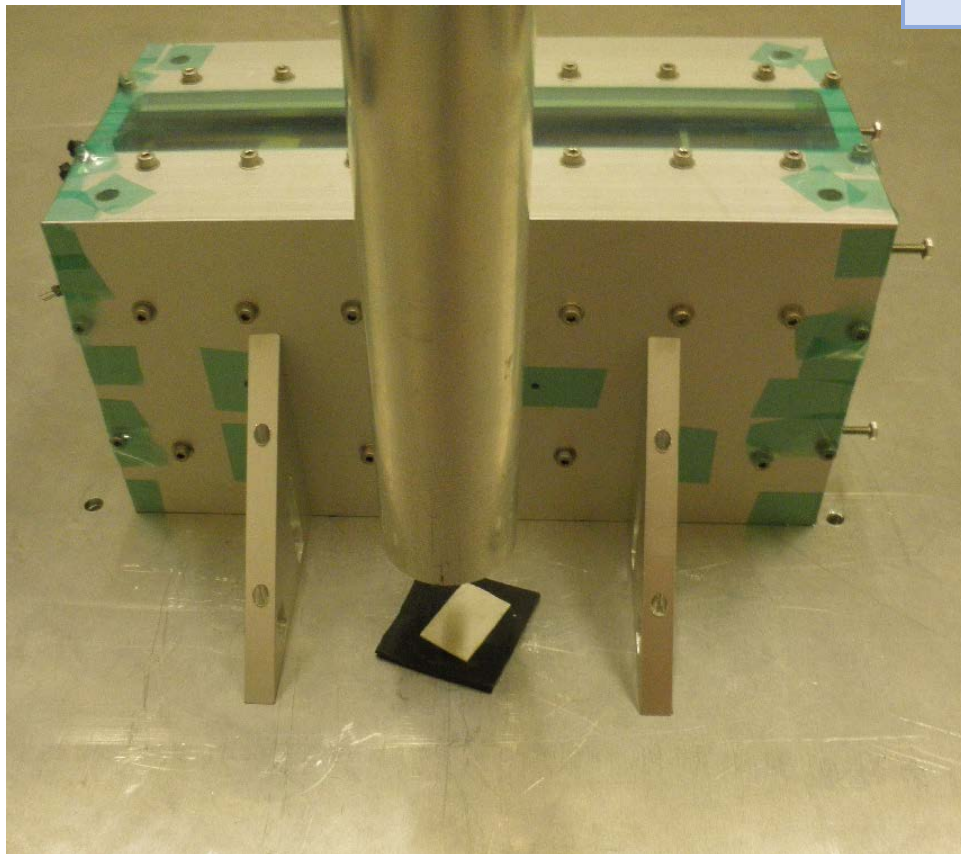




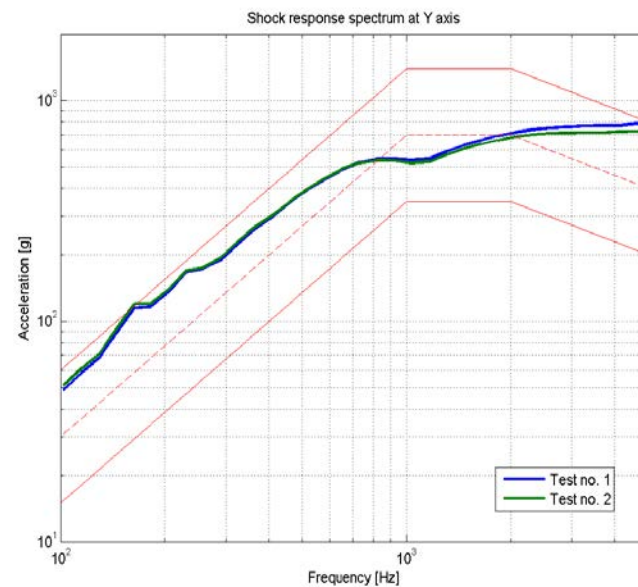
# Testování rázu

Rázový test byl uskutečněn v laboratořích VZLU.

2 rázy v každém směru byly požadovány.



Test case	Frequency (Hz)	Required spectrum (g)
X, Y, Z axis	100	30
	1000	700
	2000	700
	5000	400

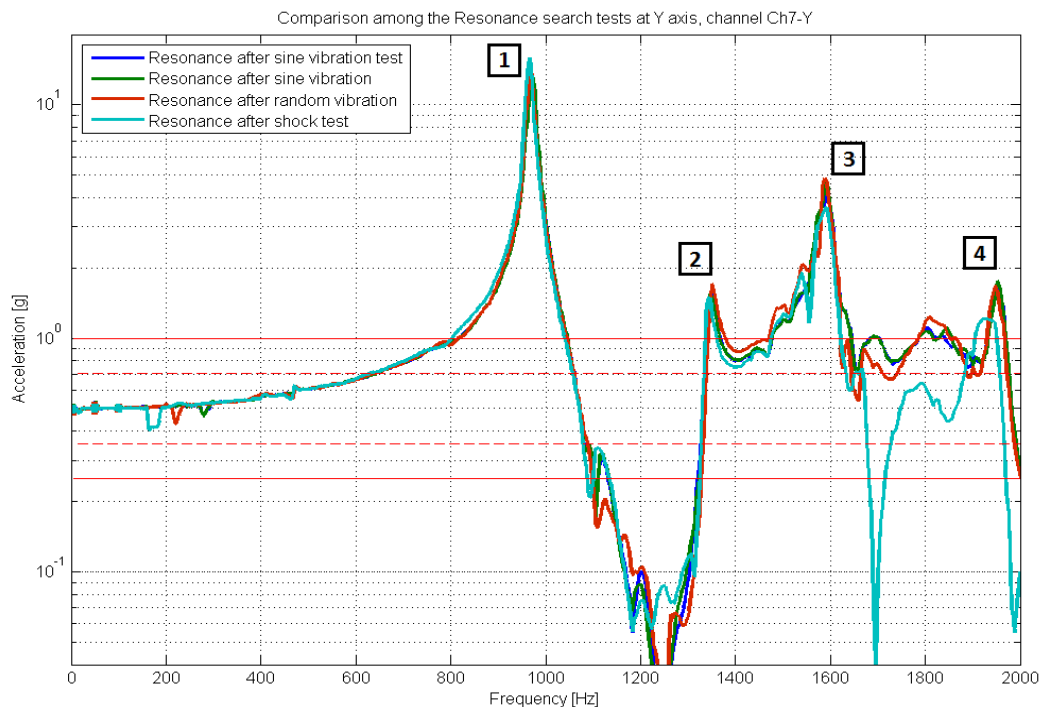




# Typický přehled testu

Výsledkem vibračních testů je frekvenční posun hlavních vrcholů.

Rozdíl ve frekvenčním posunu před a po vibračních testech by měl být nižší než 5%.



Axis	Mode n°	Frequency (Hz) measured during initial survey	Frequency (Hz) measured during final survey	Difference between frequencies (%)
X	1	721	709	-1,7
	2	1334	1326	-0,6
Y	1	971	965	-0,6
	2	1338	1320	-1,3
Z	1	1400	1495	6,8
	2	1532	1560	1,8







# Start rakety s družicí VZLUSAT-1

Poskytovatelem startu pro nanodružici VZLUSAT-1 je nizozemská společnost ISIS. V pátek 23. června 2017 v ranních hodinách byla nanodružice VZLUSAT-1 dopravena na oběžnou dráhu Země pomocí indického raketového nosiče PSLV-C38 (Polar Satellite Launch Vehicle).

Raketa odstartovala z indického kosmodromu SDSC (Satish Dhawan Space Centre) v 5:59 SEČ. Kosmodrom SDSC se nachází na ostrově Šríharikota v Bengálském zálivu.





# Start rakety s družicí VZLUSAT-1

Český satelit byl vypuštěn na polární dráhu do výšky 505 km a byla mu udělena rychlost 7 km/s. Doba oběhu družice VZLUSAT-1 kolem Země je 90 minut. Společně s družicí VZLUSAT-1 bylo vypuštěno dalších 29 nanosatelitů ze 14 zemí.







# Start rakety s družicí VZLUSAT-1

*Od 23. června 2017 je  
České technologické nanodružice VZLUSAT-1 ve vesmíru.*





# První kontakt s družicí VZLUSAT-1

HDSDR [default] v2.76 | ExtIO\_USRP.dll@16bit | SRate: 1000000 > 12000 | OS: 10.0.14393 | CPU: Intel Core i7-6500U @ 2.5

Orbitron 3.71

2017-036A  
2017-036AA  
2017-036AB  
2017-036AC  
2017-036AD  
2017-036AE  
2017-036AF  
2017-036AG  
2017-036AH  
2017-036B  
2017-036C  
2017-036D  
2017-036E  
2017-036F  
2017-036G  
2017-036H  
2017-036I  
2017-036J  
2017-036K  
2017-036L  
2017-036M

Seoul: 126.95837E, 37.43757N 2017-06-27 13:19:08 (UTC)

2017-036AD

Azimuth	280.4	Drlink/MHz	437.242500	Receive/doppler	437.239806	Drlink mode		Driver	WispDDE
Elevation	24.6	Uplink/MHz	145.000	Transmit/doppler	145.000893	Uplink mode		Object	Satellite

Choose driver and run it

Main / Visualisation / Location / Sat/Orbit info / Prediction setup / Prediction / Rotor/Radio / About

Orbitron 3.71 - © 2001-2005 by Sebastian Stoff

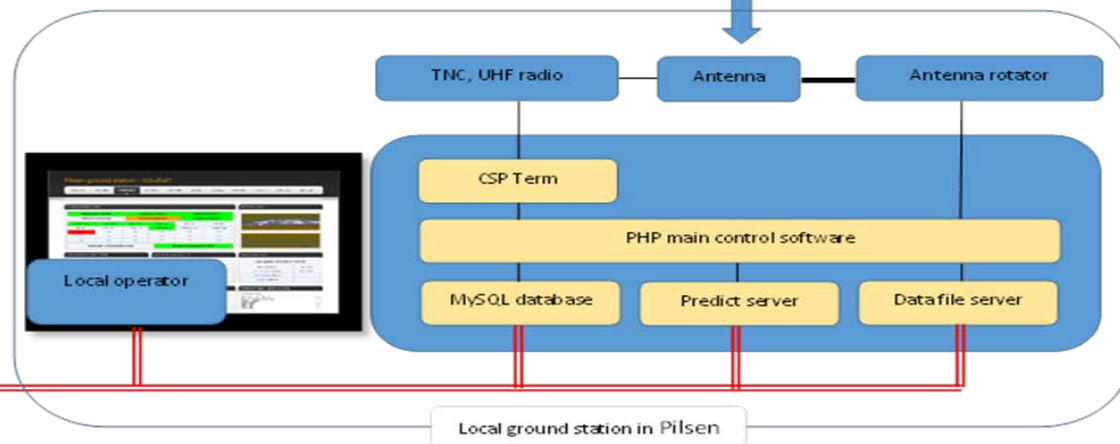
2017-06-27 13:19:08 UTC  
CPU HDSDR: 5%  
CPU Total: 91%





# Pozemní stanice

- Originálně vyvinut v rámci projektu PilsenCube (od roku 2009)
- GPS: 49°43'25.778"N, 13°20'58.626"E; 400m n.m., 20m nad terénem, LOC: JN69QR, budova FEL ZČU v Plzni
- Vybavení:
  - ICOM IC910H transceiver
  - Dvouosý anténní positioner AlfaSpid
  - 435 MHz anténa se ziskem 14.1dB
  - 435MHz s bypass relé
  - GomSpace NanoCom TNC + CSP Term sw
  - PC s OS Linux, UPS, optické připojení k internetu



TCP/IP network

Local ground station in Pilsen



# Pozemní stanice

## Pilsen Ground Station

## for VZLUSat-1 2017-10-02 20:28:38 UTC

TRACK COMM INFO PASS INFO STOR INFO WOD OBC RADIO AMATEUR ABOUT US

### Communication state

Waiting for satellite		Trying to connect		Initial procedures	
Arbitrary command		Data transmission		Contact finished	
Initial Ping	Time Sync	OBC WOD	OBC Reg	OK ST <input checked="" type="checkbox"/>	P ST <input checked="" type="checkbox"/>
OBC HK <input checked="" type="checkbox"/>	EPS HK <input type="checkbox"/>	COM HK <input type="checkbox"/>	HM HK <input type="checkbox"/>	MES HK <input type="checkbox"/>	XRAY HK <input type="checkbox"/>
Planner Up! <input type="checkbox"/>	Cmd Recv <input checked="" type="checkbox"/>	File Dow <input checked="" type="checkbox"/>	???	???	???
???	???	???	???	???	???

Automatic commanding mode      Manual commanding mode

### Antenna tower



Sorry, this is off-line photo, real photo only during a daylight.

### Last received OBC WOD

Last record: 2017-10-02 19:07:41

SU:1, fw:0, bc:3

Vbat: 8.05 V	Toom: 18 °C
Cbat: -0.378 A	Teps: 16 °C
Cs: 0.375 A	Tbat: 16 °C

### Last received OBC HK

Last record: 2017-10-02 19:07:40

Mode: 4	CpuL: 0.016 %
Tasks: 15	T1: 15.00 °C
BootC: 1587	T2: 16.75 °C
Uptime: 22.0	

### Satellite position and nearest pass info

Last update: 2017-10-02 20:28:30

Current latitude: -10°	Current longitude: -343°
AOS time: 20:38:24	AOS in: 00h 06min 54sec
LOS time: 20:49:45	satellite not in range
Pass duration: 681 s	Max. elevation: 30°

### Next download requests

Host	Port	Chunk from	Chunk to
1	34	21 956	22 599
4	3	3 646	4 145
4	3	4 146	4 645
4	3	4 646	4 956
4	3	4 957	5 381
4	3	5 382	5 646
4	3	5 647	6 146

### Next upload requests

File name	Opt.

### Next arbitrary commands

Command

### Communication state console

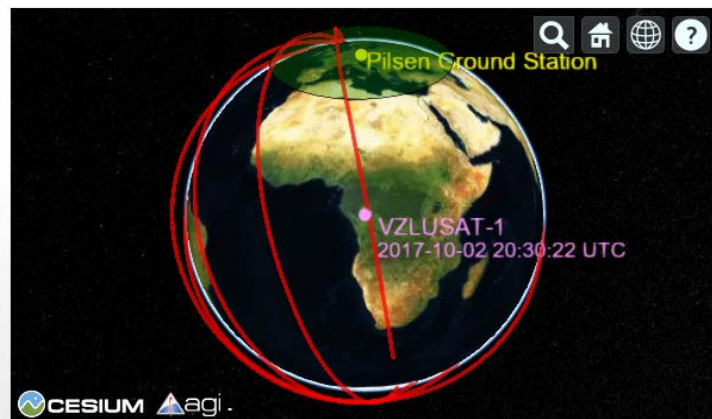
```
19:16:06 Downloaded data: 84.002 kB
19:16:06 Radio contact COMPLETED
19:16:06 COM-RSSI OK 356.11 -1.28
19:16:04 DOWNLOAD S1P34C21956-22599 incomplet 359.98 +2.57
19:15:01 DOWNLOAD S1P34C21956-22599 starting
19:15:01 DOWNLOAD S4P2C1859-1982 OK 9.82 +9.87
19:13:24 DOWNLOAD S4P2C1859-1982 starting
19:13:23 DOWNLOAD S4P2C1859-1982 incomplet 104.31 +18.45
19:08:37 DOWNLOAD S4P2C1859-1982 starting
19:08:37 DOWNLOAD S4P3C3146-3645 OK 115.87 +13.46
19:07:47 DOWNLOAD S4P3C3146-3645 starting
19:07:47 COMMAND f st fixex_cmd_stats error!
19:07:45 COMMAND f st fixex_cmd_stats error!
19:07:42 COMMAND f st fixex_task WAITING current=0, line=0, err=0,
scripts=2
19:07:41 OBC-WOD OK 117.15 +12.00
19:07:40 OBC-HK OK 117.26 +12.74
```

### Last received DataKeeper list

Last DataKeeper reading: 2017-10-02 19:07:06

Host	Port	First chunk	Last chunk	Last write	Errors
1	52	1	11	2017-10-02 19:41:00	0
1	34	20 448	22 599	2017-10-02 19:06:21	0
1	20	1	165	2017-09-20 08:42:33	0
1	51	1	16	2017-10-02 12:01:00	0
1	55	1	3	2017-10-02 06:50:51	0
1	58	121	2 971	2017-10-02 19:06:42	0
4	3	2 645	6 656	2017-10-02 19:06:47	0
4	2	1 058	2 662	2017-10-02 19:06:47	0

### Satellite footprint and ground station position



## Parametry rádiového spoje 437,240 MHz

Rádio satelitu s výkonem 1W,  
pozemní stanice PilsenCUBE s  
výkonem 60 W (510 W EIRP)

komunikační vzdálenost během  
kontaktu 510 až 2600 km

relativní rychlost mezi satelitem a  
komunikační stanicí až 7,6 km/s  
(Dopplerův posun +/-10 kHz)



# První data – antény vyklopeny, máme napájení

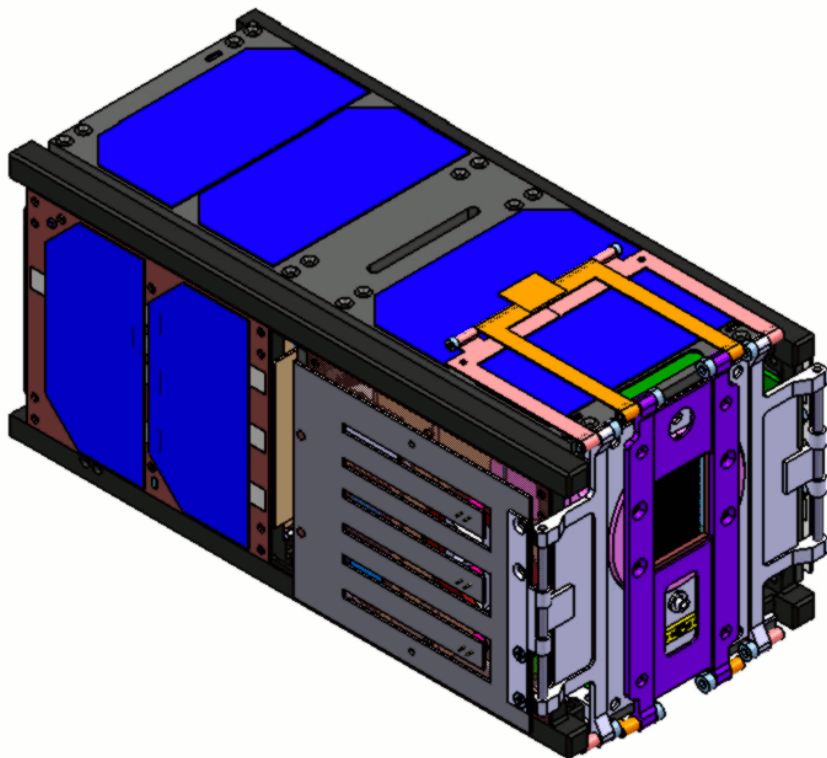
```
csp-term # ping 1 1000
Ping name 1, timeout 1000, size 1: Timeout
csp-term # ping 1 1000
Ping name 1, timeout 1000, size 1: Timeout
csp-term # ping 1 1000
Ping name 1, timeout 1000, size 1: Timeout
csp-term # ping 1 1000
Ping name 1, timeout 1000, size 1: Reply in 354 ms
csp-term # ping 1 1000
Ping name 1, timeout 1000, size 1: Timeout
csp-term # ping 1 1000
Ping name 1, timeout 1000, size 1: Reply in 361 ms
csp-term # ping 1 1000
Ping name 1, timeout 1000, size 1: Timeout
csp-term # ping 1 1000
Ping name 1, timeout 1000, size 1: Timeout
csp-term # ping 1 1000
Ping name 1, timeout 1000, size 1: Timeout
csp-term # mt sw
Master switches error (0)!
Could not execute command 'mt sw', error -1
```

```
csp-term # mt sw
MT switches (res=0):
ANT1 switch[1]: RELEASED
ANT1 switch[2]: RELEASED
ANT1 switch[3]: RELEASED
ANT1 switch[4]: RELEASED
ANT2 switch[1]: RELEASED
ANT2 switch[2]: RELEASED
ANT2 switch[3]: RELEASED
ANT2 switch[4]: RELEASED
HM screw:   RELEASED
HM spring:  RELEASED
Solar screw: RELEASED
Optics 1:   closed
Optics 2:   closed
Solar spring: RELEASED
csp-term # obc wod
su: 0, fw: 0, bc: 0
battery volt: 8.250
battery curr: 0.299
3v3 curr: ?
5v0 curr: 0.100
temp com: 11.00
temp eps: 11.00
temp bat: 10.00
```





# Start rakety s družicí VZLUSAT-1



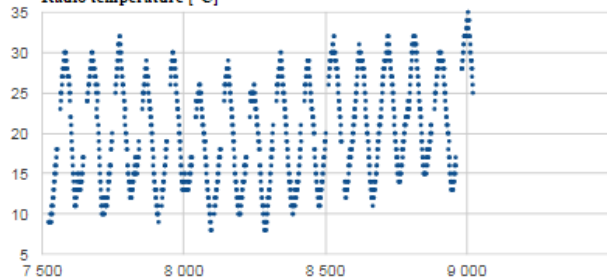
Po vynesení na orbitu bude nanodružice vystřelena z tzv. vystřelovače (POD). Po 30 minutách se automaticky zapne a začne první fáze mise „Uvedení do provozu“.

Součástí fáze je vyklopení vyklápěcích systémů, dobití baterií a navázání prvního kontaktu s pozemní stanicí.

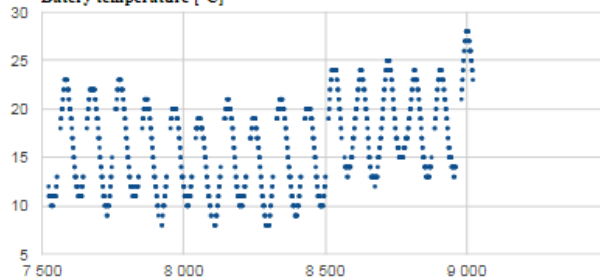


# První data – automatický režim

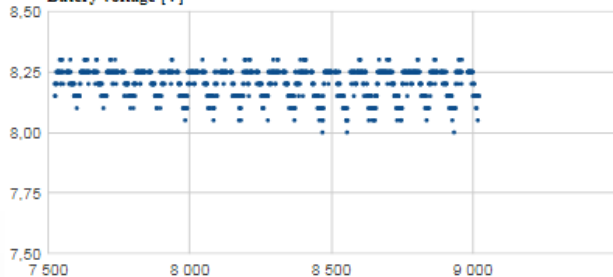
Radio temperature [°C]



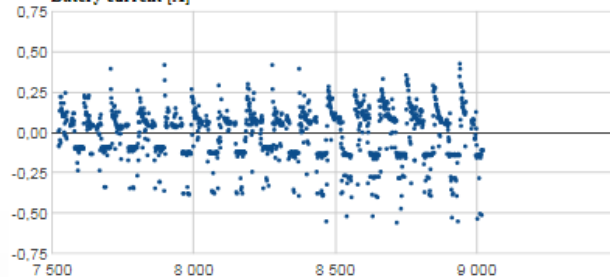
Battery temperature [°C]



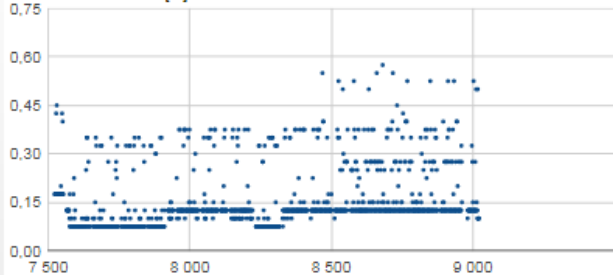
Battery voltage [V]



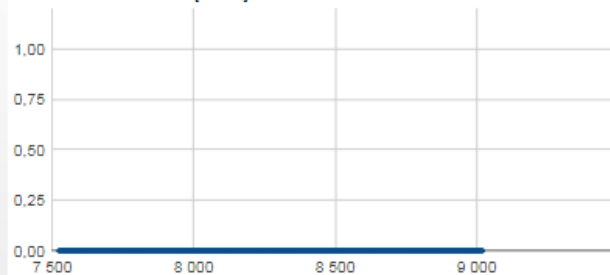
Battery current [A]



5V bus current [A]



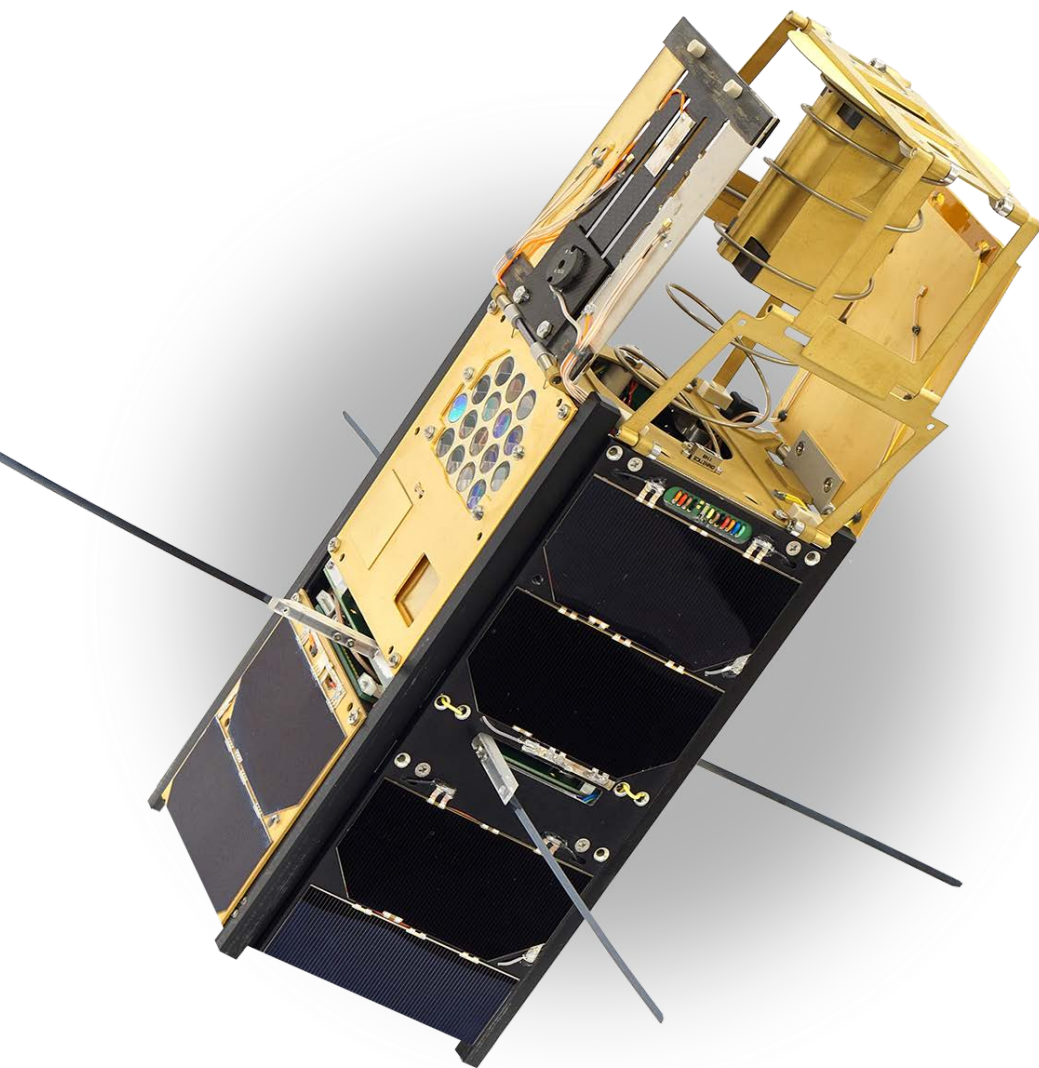
Science unit status [on/off]



- **Uskutečněno tisíce rádiových kontaktů se satelitem**
  - **v denní dobu (v rozmezí 06:55 až 11:50 mezinárodního času)**
  - **ve večerní dobu (v rozmezí 17:30 až 22:21 mezinárodního času)**
  - **Doba trvání kontaktu 575 – 700 s**
- **Přeneseno 45 MB dat**
  - **23 % telemetrická data**
  - **77 % data z experimentů**
- **Aktuálně dosažitelná kapacita stahování dat**
  - **přes 200 kB denně (při omezení povelování s prioritou stahování)**
  - **Přes 100 kB denně (při běžném povelování s přenosem planerů)**



# Experimenty na palubě VZLUSAT-1



## Kompozitní materiál pro stínění kosmické radiace

- Solární panel na kompozitním substrátu
- RHCH zdraví monitorující sensory – teplota, těkavé látky, radiace, vibrace

## Miniaturizovaný rentgenový dalekohled

- Pozorování Slunce
- Pozorování Měsíce
- Astronomická pozorování
- Měření radiace kosmického pozadí
- TGF pozorování

## QB50 vědecký přístroj FIPEX

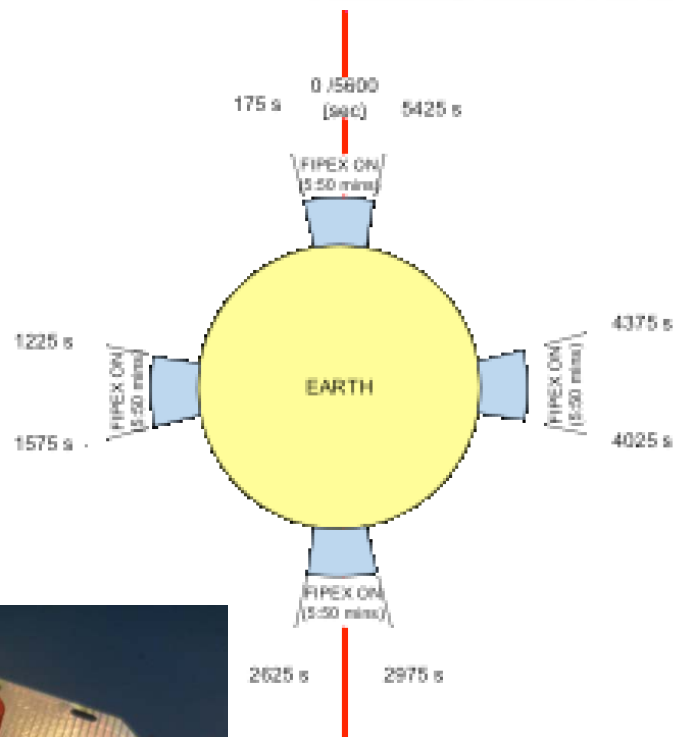
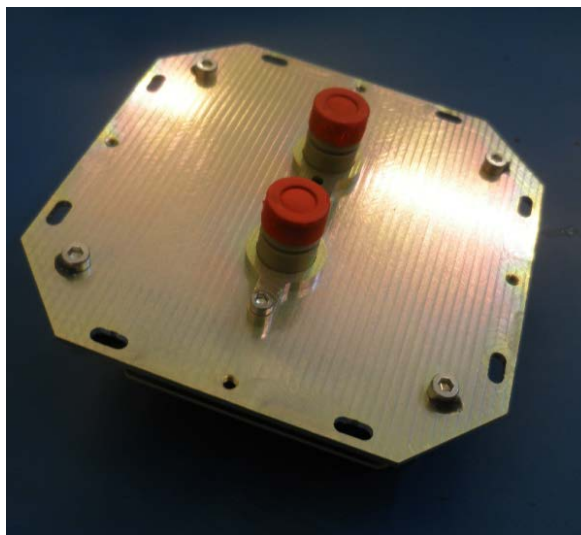
- Měření koncentrace kyslíku v atmosféře



# Payload FIPEX Cubesatu

## In situ měření atomárního a molekulárního kyslíku

FIPEX TU v Drážďanech ( $\phi$ -  
(Phi=Flux)-Probe-Experiment) je  
schopen odlišit a změřit časově  
rozlišitelné chování atomárního a  
molekulárního kyslíku jako  
klíčového parametru nižší  
termosféry. Atomární kyslík je  
dominantním druhem v těchto  
oblastech a tudíž jeho měření je  
zásadní pro korelaci a ověřování  
modelů atmosféry. Navíc, eroze  
povrchů kosmického plavidla v  
důsledku interakce s atomárním  
kyslíkem je vážný problém a zaslouží  
si své vlastní in-situ studium.

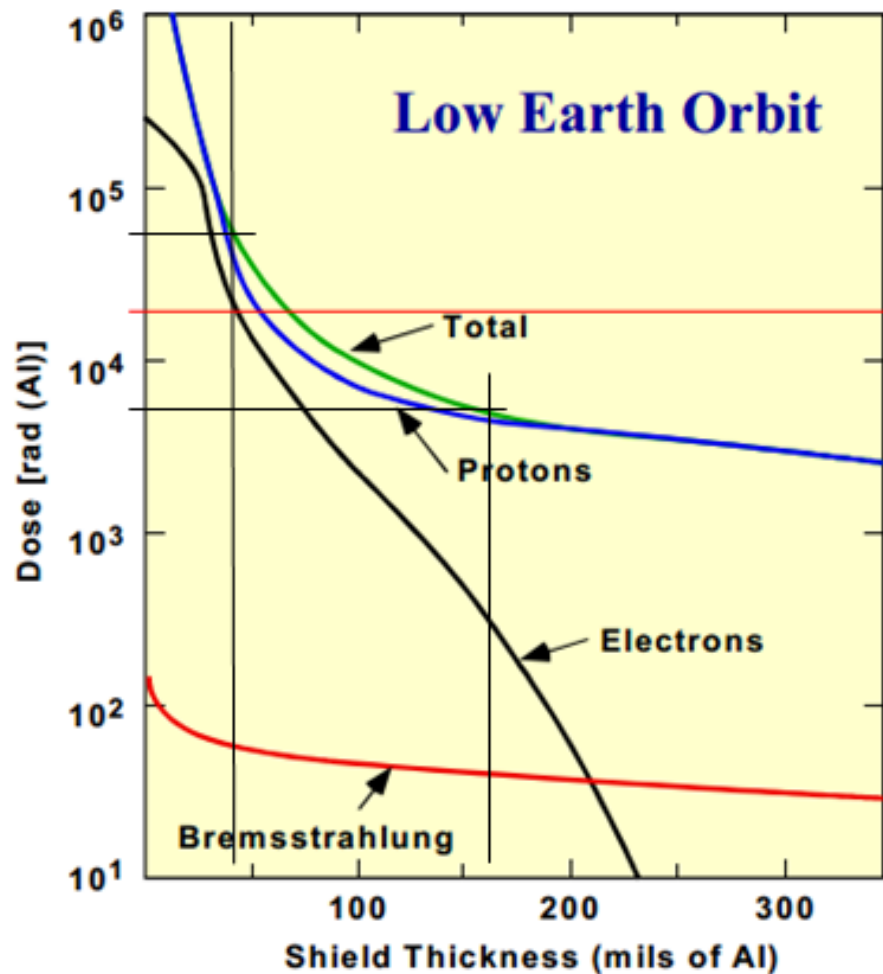






# Radiační štít Cubesatu

Kompozitní materiál pro stínění kosmické radiace (**Radiation-hardened composite housing (RHCH) material**)



Radiačně odolné kompozitní stínění (RHCH) pro elektroniku se zvýšenou tepelnou vodivostí je materiál navržený ke stínění širokého spektra energií. Odpovídajícím způsobem odolné materiály vůči kosmické radiaci způsobené protony (částicemi) jsou materiály s atomovým číslem 1, tj. vodík. Hmotnost vodíku je srovnatelná s hmotností protonu a tudíž má vysokou účinnost v redukci energie dopadajícího protonu.

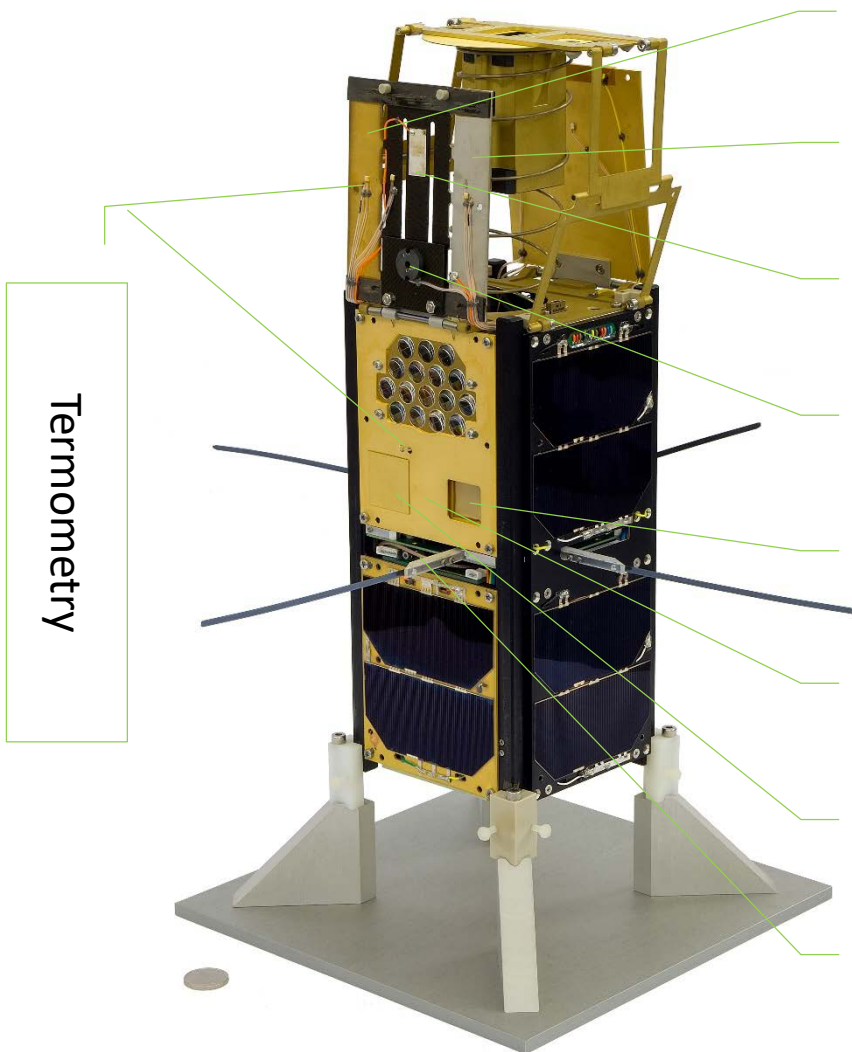
Aby došlo k odstínění gama záření, jedinou možností je zvýšení tloušťky materiálu s vysokým atomovým číslem. Z tohoto důvodu byla vybrána metalizace niklu.

Radiační stínění proti IR záření je dosaženo větší reflektivitou povrchu díky vrstvě zlata.



# Payload HM systému Cubesatu

system pro monitorování stárnutí RHCH (Health Monitoring - HM)



Termometry

Reflexní zlatý povrch

Reflexní niklový povrch

Piezo pro měření  
mechanických oscilací

Cívka pro mechanický  
generátor pulsu

XRB dioda nezakrytá

XRB dioda  
zakrytá RHCH

XRB dioda zakrytá  
RHCH a wolframem

Senzory těkavých látek

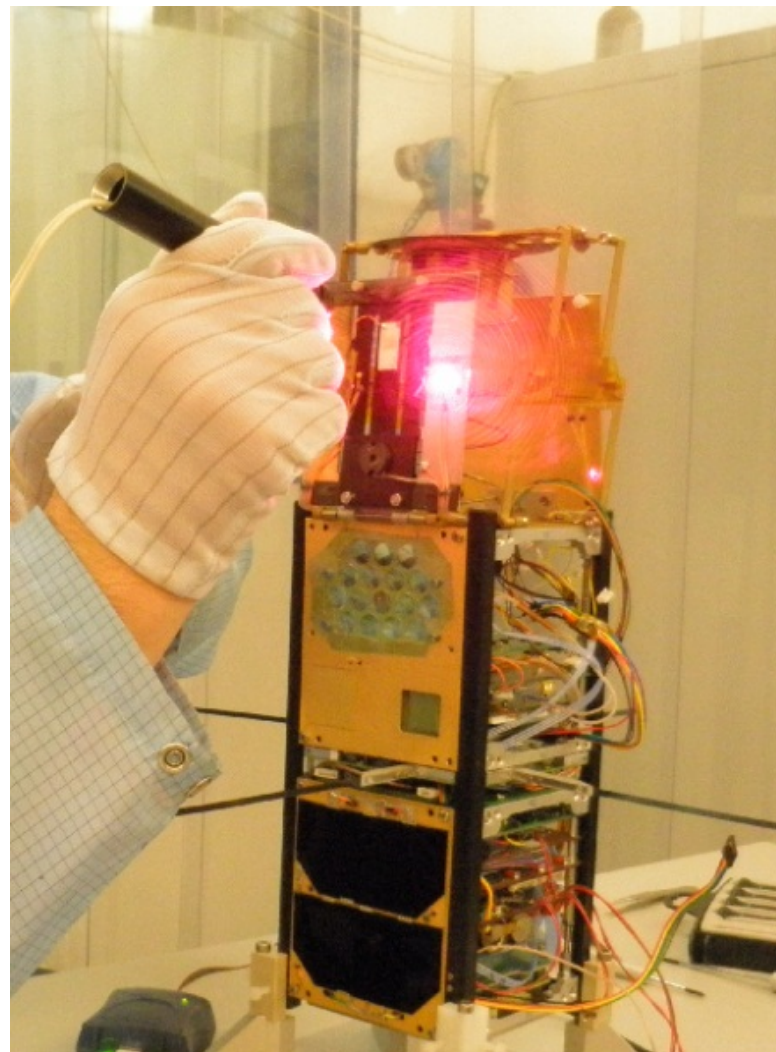
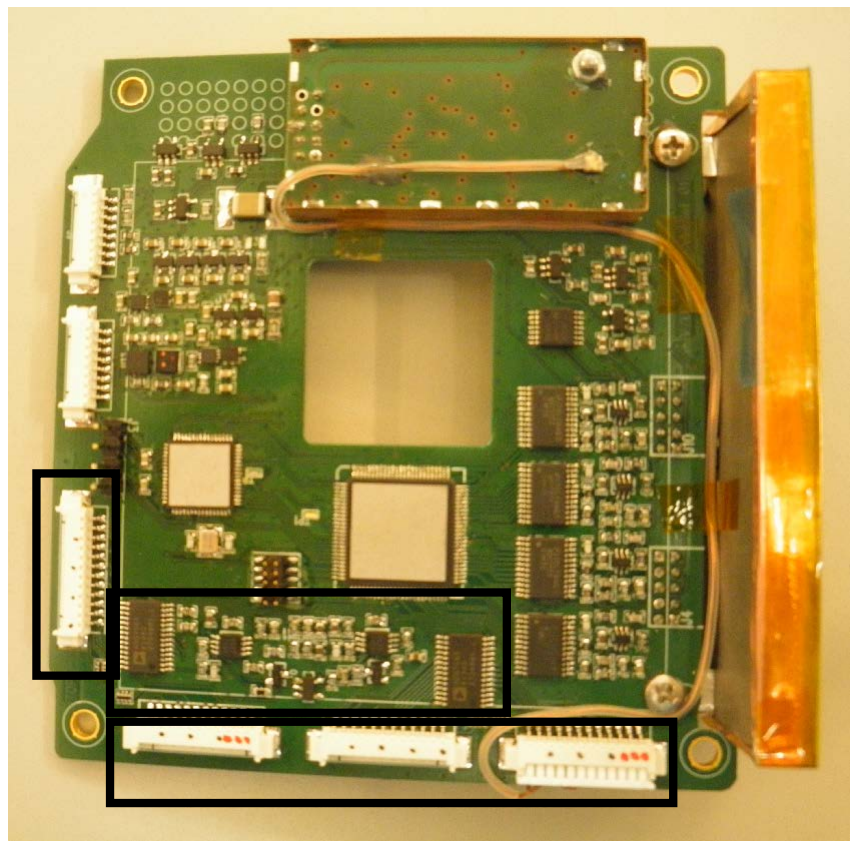
- MES deska – teplota, vlastnosti radiálního stínění
- HM deska – mechanické vlastnosti
- Těkavé látky deska – Odplyňování těkavých látek
- RRA – Pole zpětných koutových odražečů
- Solární panel založený na RHCH



# Payload HM systému – MES

## Měření teploty

Pro měření teploty je použita Měřicí deska.  
CubeSat je vybaven 24 PT1000 senzory.



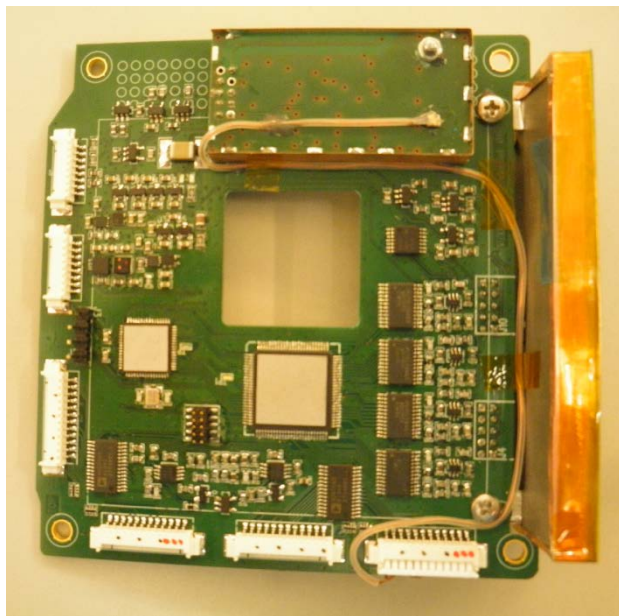




# Payload HM systému - MES

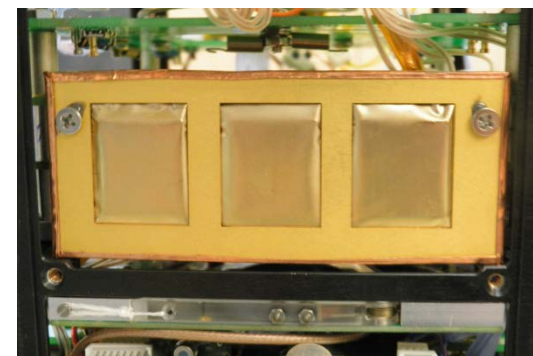
## Deska MES – měření radiačního stínění

- Měří a zpracovává data z radiačních a teplotních senzorů
- Sbírá teploty z 19 PT1000 senzorů v celém VZLUSAT-1
- Provádí měření CdTe detektorem pro energie od 20 keV do 1 MeV



## Přehled XRB desky

- Měří radiaci – celkovou dávku a histogramy
- Nese tři PIN diody pro energie od 8 keV do 20 keV
- Každý kanál má odlišné stínění pro srovnávací měření
  - Wolfram
  - Volný prostor
  - Uhlíková vlákna

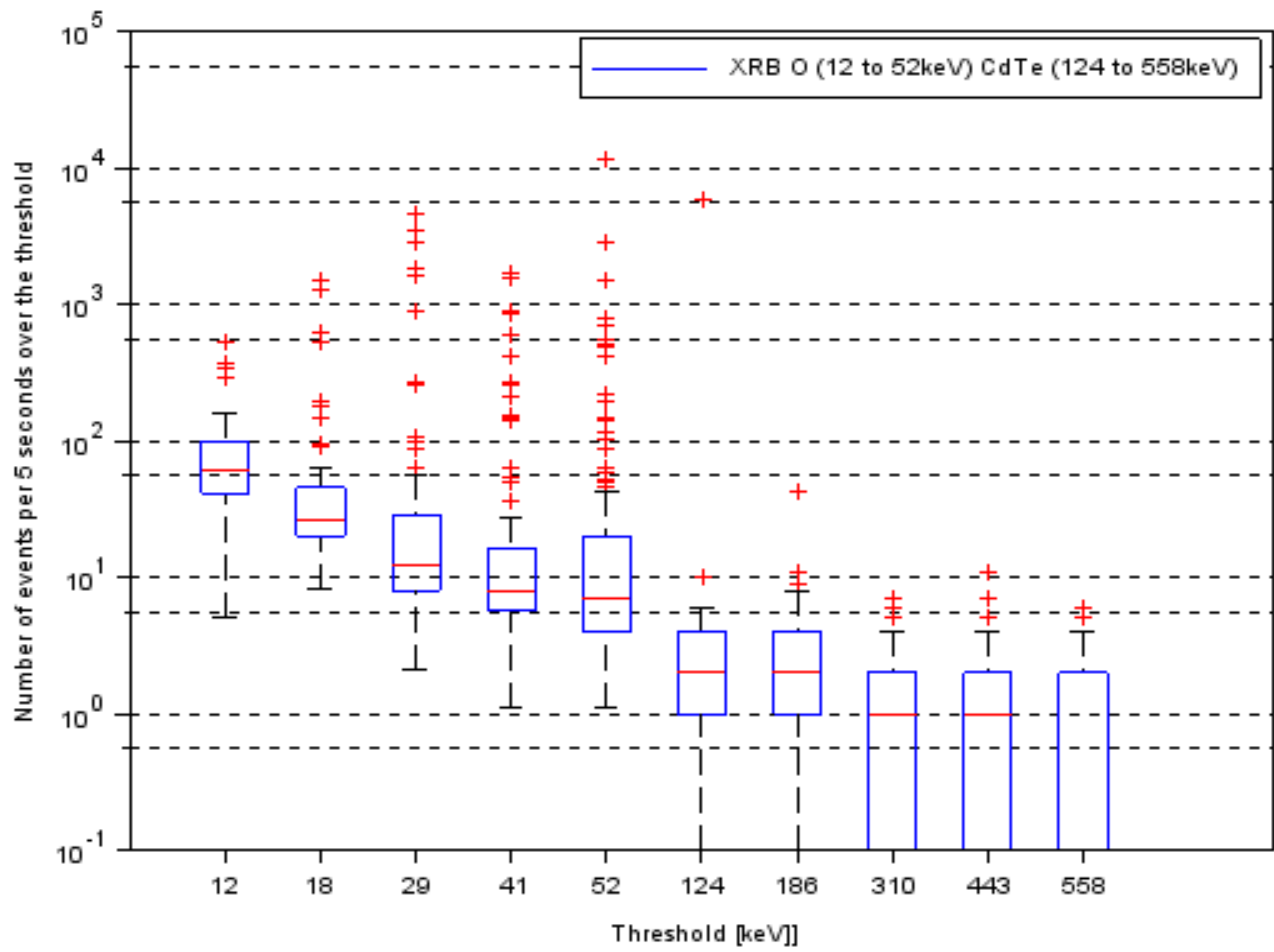
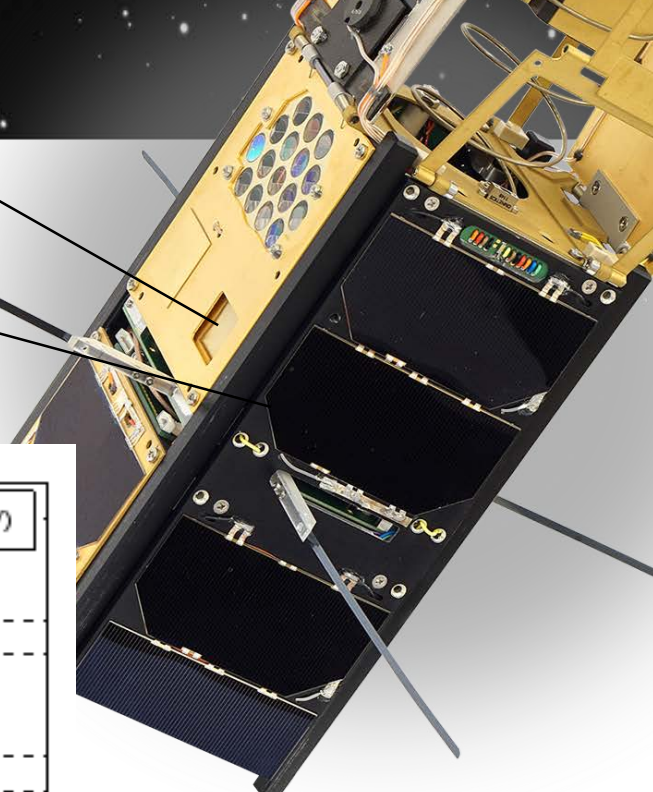
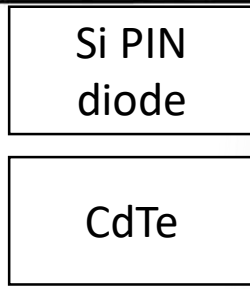






## Space radiation shielding

The radiation shielding experiment is a part of the VZLUSAT-1 mission. The Si PIN (XRB) diodes and CdTe detector are used for TID measurement.



The integral fluxes over the threshold are presented. Count rate in the semiconductor diodes in VZLUSAT-1 depending on threshold (THL) level. By changing the threshold the energy bands were be observed.

The statistical box-plots are presented.



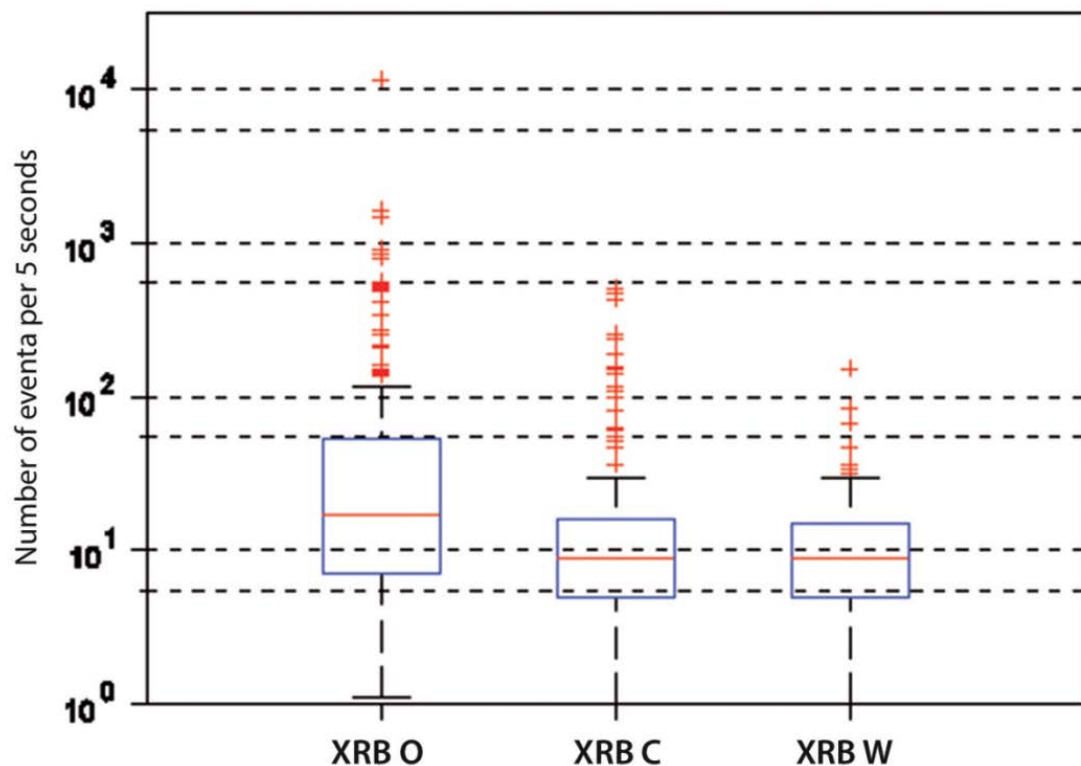
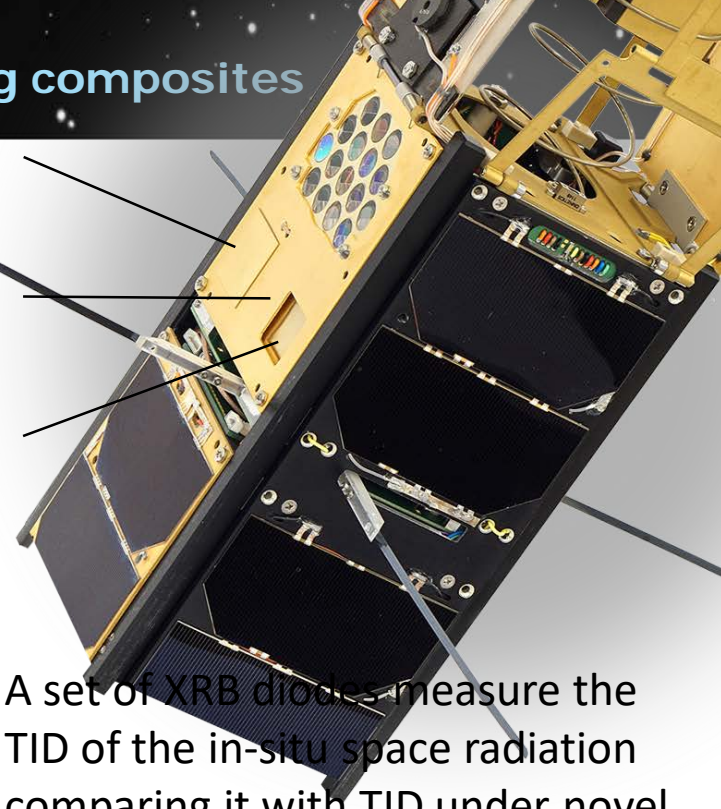
## Material development

- In-situ radiation shielding properties measurement
- Differential evaluation of the shielding efficiency

Tungsten and RadShield Composite

RadShield composite

Open diode to space



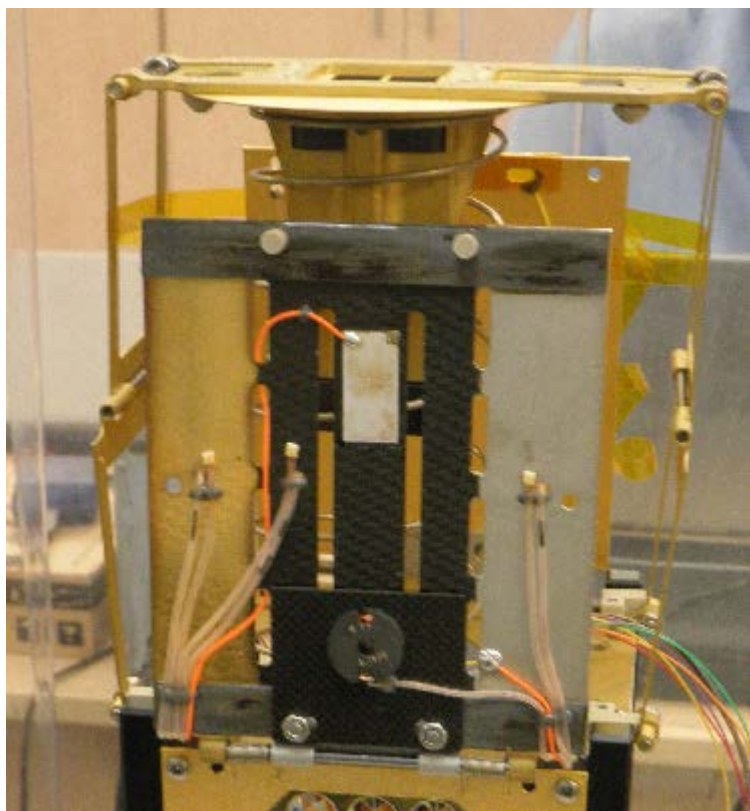
A set of XRB diodes measure the TID of the in-situ space radiation comparing it with TID under novel Radiation Shielding Composites CubeSat walls. The Radiation Shielding Composites material used standard carbon fibres with special resin and surface galvanic metalling giving enhanced radiation properties to the material. The additional measurement of the TID behind a tungsten shield is performed at the same time.



# Payload HM systému - HM

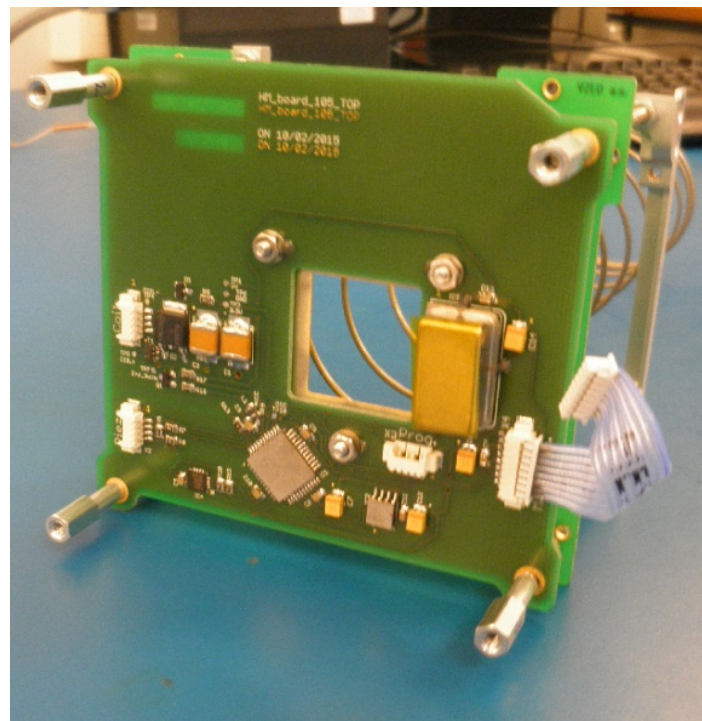
## Měření mechanických vlastností

- Založeno na měření Youngova modulu pružnosti
- Z přirozených frekvencí
- získáno pomocí FFT



## HM panel

- Obsahuje 6x PT1000
- Dva odlišné materiály na každé straně panelu
- Cívky pro excitaci ocelového nosníku
- Piezo-měření vibrací



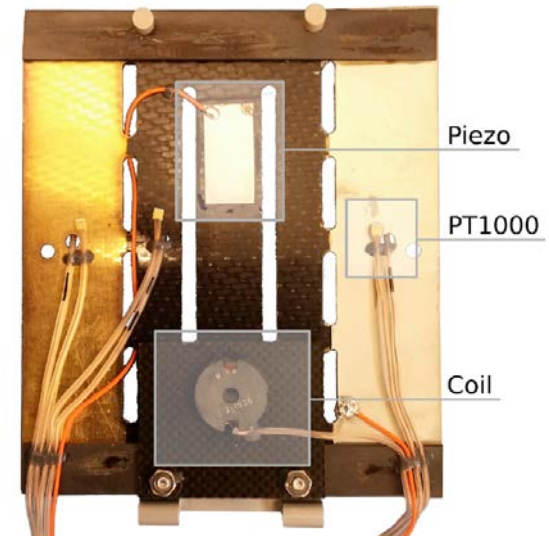
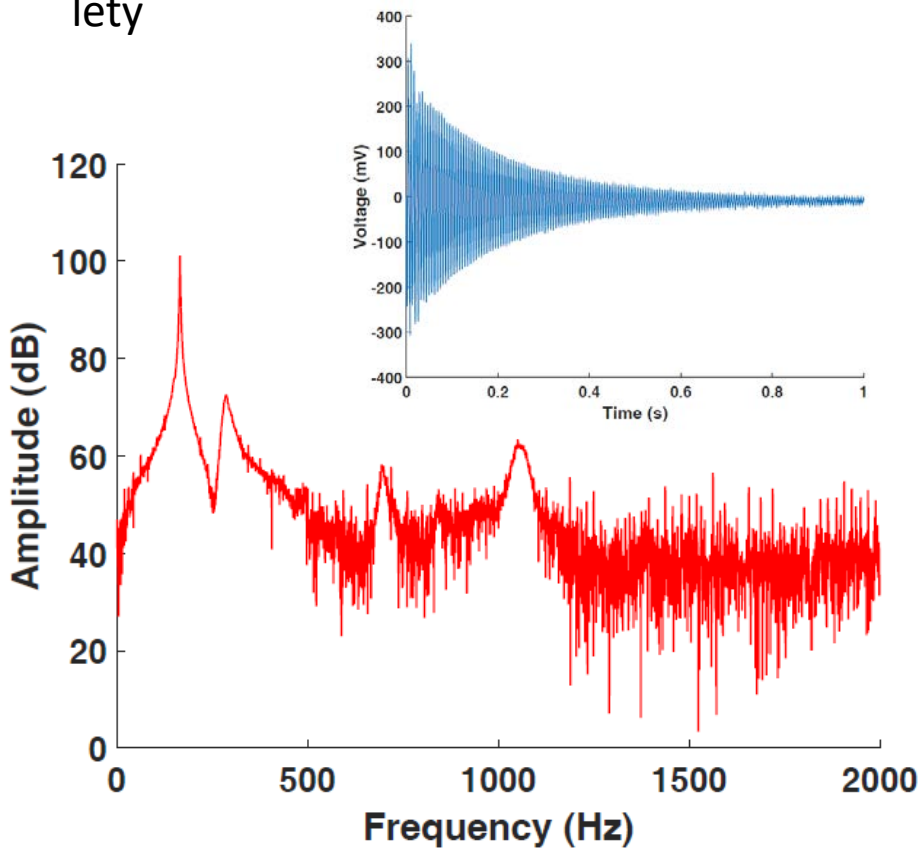




# Radiační štít – data z vesmíru

Měření mechanických vlastností kompozitů

- Modul pružnosti materiálu odpovídá rezonanční frekvenci
- Útlum je závislý na teplotě materiálu
- Změna vlastností v čase pro meziplanetární lety



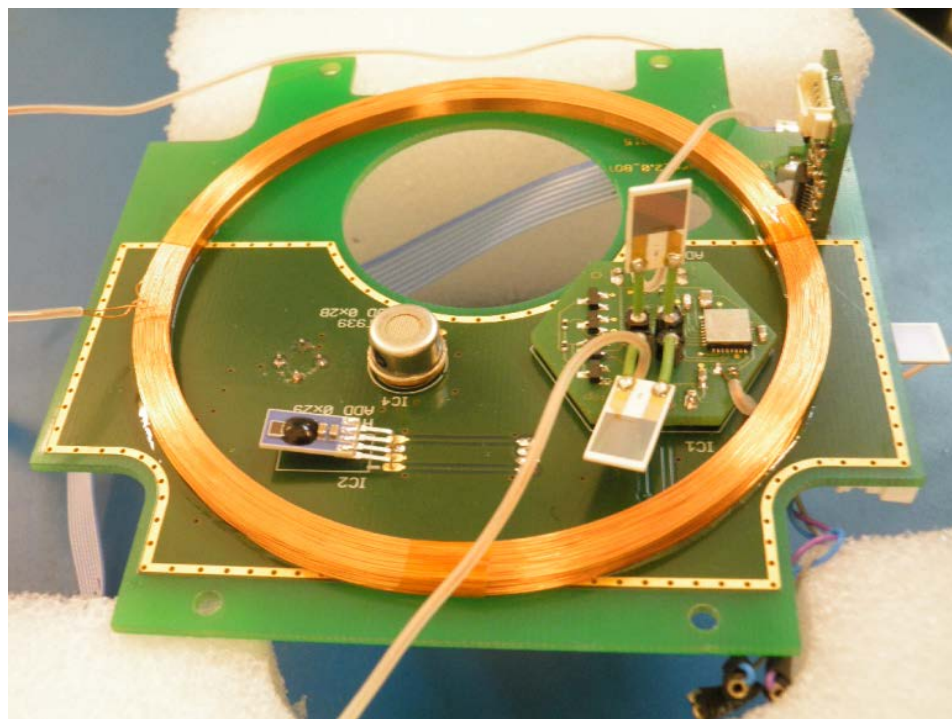




# Payload HM systému - Volatiles

## Deska těkavých látek

- 4x HYT senzory
- 3x HAL2 senzory



## Přehled vlastností

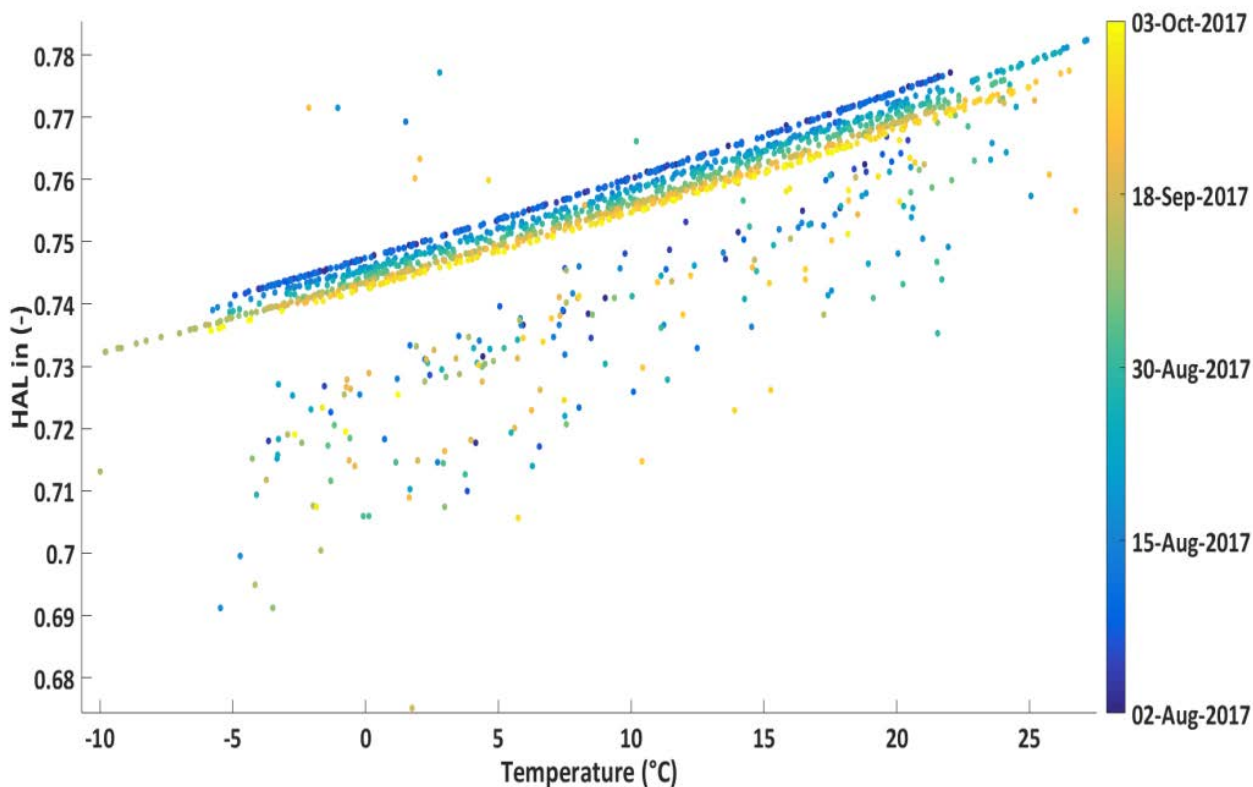
- Měření těkavých látek
- Dva druhy senzorů vlhkosti
  - Organický polymer (Digitální)
  - Inorganický (Analogový)
- Každý senzor má svůj vlastní termometr
- Jeden senzor je lokalizován vně těla VZLUSAT-1
- Nízká spotřeba energie (HYT senzor 22  $\mu$ A)
- I2C rozhraní napojeno na Aux I2C
- Úloha je zpracována přímo na OBC
- Část desky je také jednou ze stabilizujících cívek



# Radiační štít – data z vesmíru

- Monitorování plynění součástí satelitu
- Incidenty s výrazným plyněním nebyly detekovány
- Naměřeno postupné snižování signálu - svědčí o postupném zmírňování plynění součástí družice
- Ověřena stabilita senzorů vlhkosti vůči vesmírným podmínkám
  - Vysoké vakuum
  - Teplotní cyklování
  - Radiace

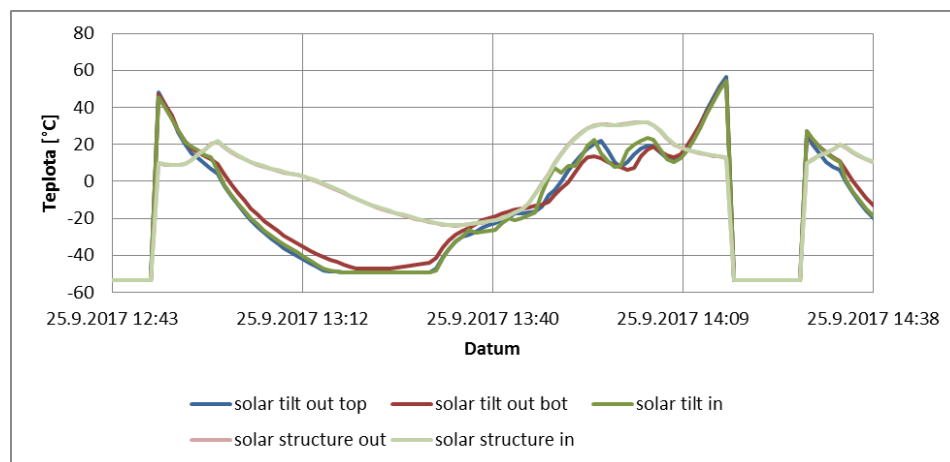
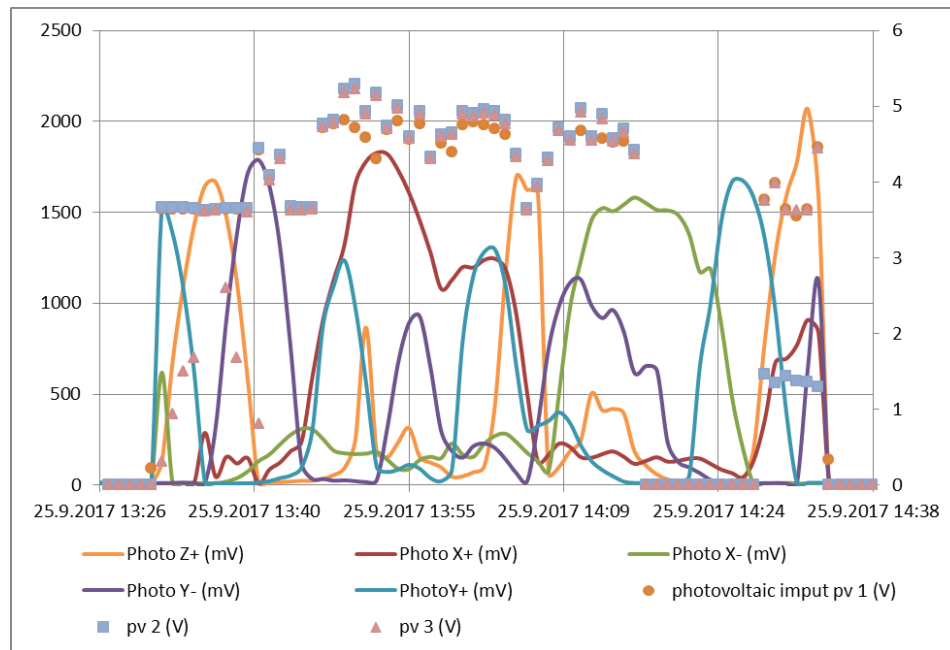
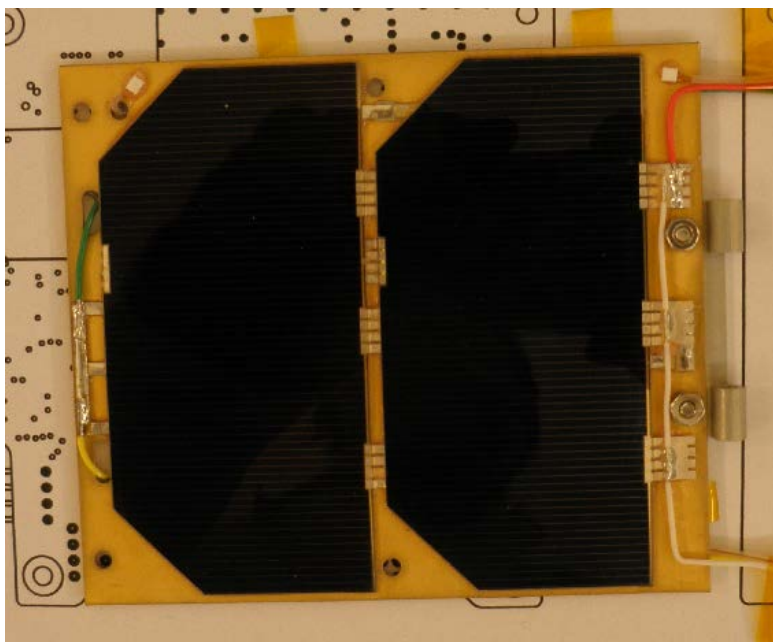
- Ověření funkčnosti vlhkoměrů HAL2 ve vesmíru
- Otevření nové oblasti pro použití senzorů HAL2





# První data – Solární panely

- ověřit technologii umístění solárních článků na kompozitový panel
- kvalifikovat tuto technologii v kosmických podmínkách
- tepelná roztažnost kompozitu byla co nejbližší solárnímu článku.
- malé termo-elastické namáhání
- vyšší životnost solárního panelu



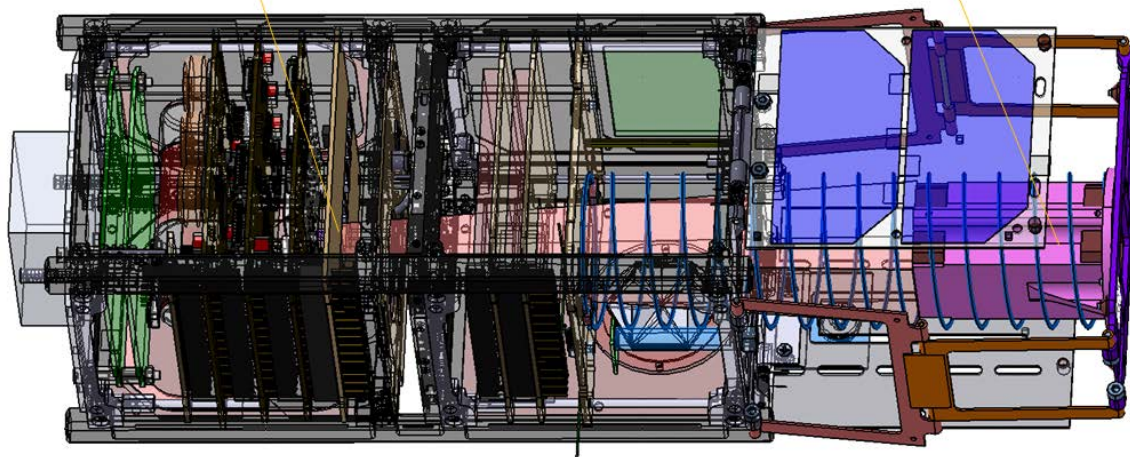




# Payload Miniaturizovaného X-ray dalekohledu

X-ray detector

X-ray optics



- **Astrofyzikální výzkum** (širokoúhlové monitorování celé oblohy v X-ray oblasti)
- **Sluneční monitoring** (pro zobrazování sluneční záře v X-ray oblasti)
- **Monitorování kosmického počasí** (rozlišování částic, elektronů a fotonů)
- **Monitorování počasí na Zemi** (Pozemské záblesky gama záření TGF)

## Přehled vlastností

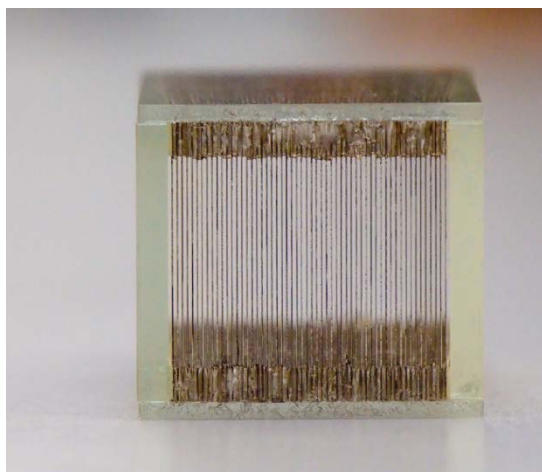
- FOV 3deg
- Rozsah energií 3-60 keV
- Spektrální rozlišení 5 keV
- Dosimetrický mód
- Spektrální mód
- Fotonový mód
- Křemíkový pixelový detektor
- 256×256 pixelů
- Rozměr pixelu 55 mikronů
- FWHM 20 arcmin @ 4.5keV
- Ohnisková vzdálenost 250 mm
- Hmotnost 800 gramů
- Objem 2U



# Payload Miniaturizovaného X-ray dalekohledu

X-ray optika – Račí oko (Lobster Eye – LE)

1D LE je vhodnější pro slabé a tvrdší rentgenové záření (5 - 20 keV). Pro tvrdé rentgenové záření LE pracuje jako Sollerova štěrbinová optika. Optika nad 35 keV se chová jako kolimátor (Sollerova štěrbinová optika), tak že má zisk pouze 1. Maximální energie je limitovaná detektorem Timepix. Timepix může být užit také pro měření spektra astrofyzikálních objektů.

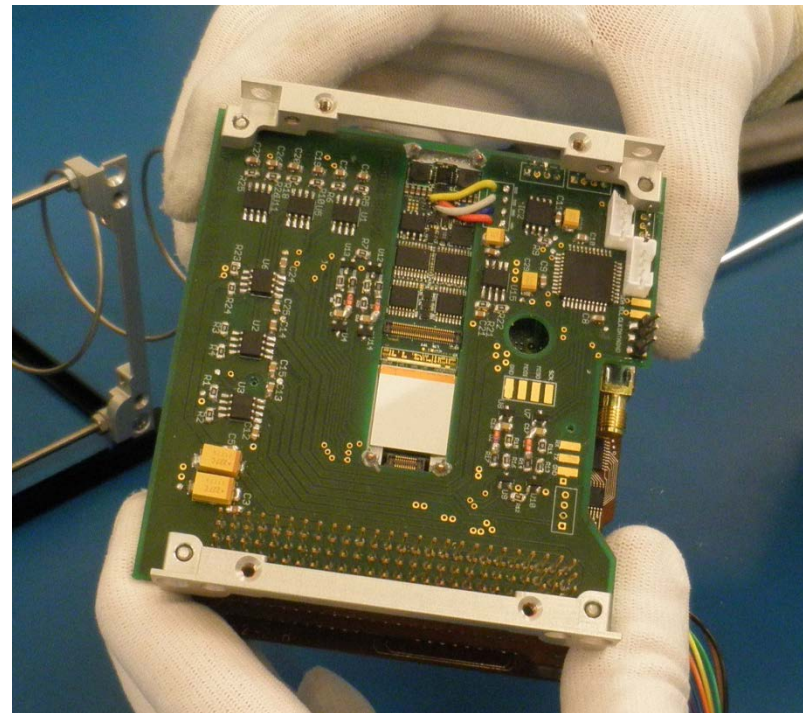




# Payload Miniaturizovaný X-ray dalekohled

- Pixelový detektor
- Malý v objemu
- Nenáročný na spotřebu energie
- Nechlazený
- Tradice

Timepix detektor byl vybrán. Tento pixelový detektor pro X-ray obrázky v rozsahu energií 3-50 keV používá technologii křemíkových čipů Timepix. Detektor Timepix s 256×256 pixely a velikostí pixelu 55 mikronů, detekční oblasti 14×14 mm<sup>2</sup>. Celková ionizační dávka či spektrum může být měřeno v odpovídajícím módu. Miniaturní verze elektroniky může být navržena za účelem instalace detektoru do 2U picosatelitu.



Původní USB rozhraní Timepixu bylo přepásáno tak, aby poskytlo přímé napojení. AVR procesor je použit za účelem přímé komunikace s Timepixem a základního zpracování obrázků a jejich uschování.





# Rentgenový dalekohled – data z vesmíru

## The first image

Binning 32 n.385, 1.0 s exposure, MPX mode, 2017-07-10 08:02:15

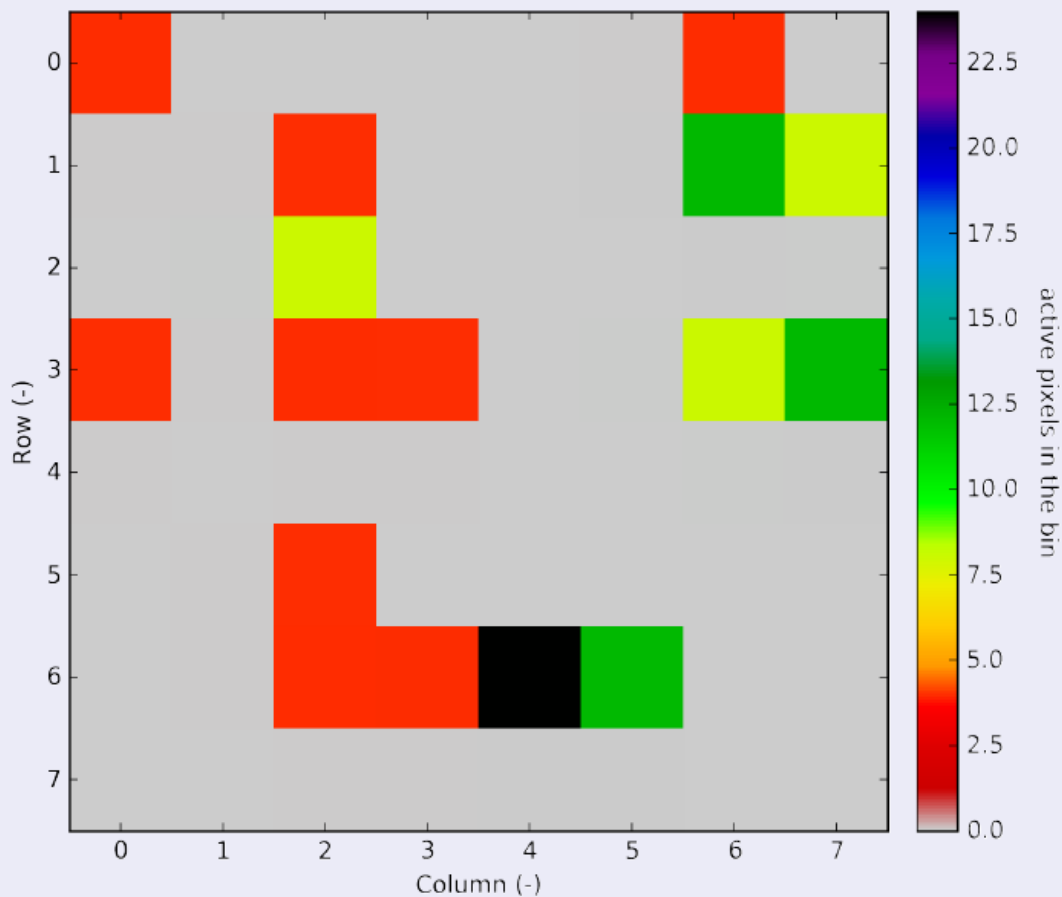
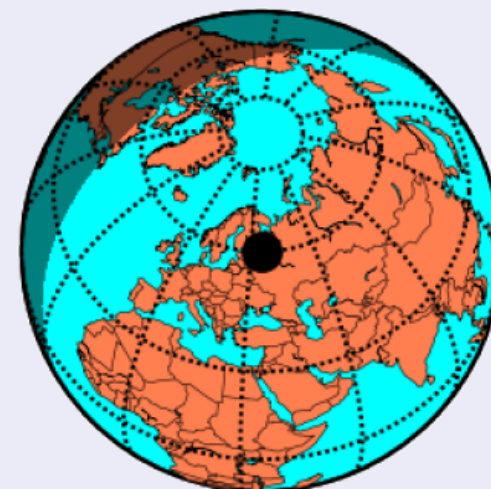


Image ID: 385  
Exposure time: 1.0 s  
Control: teleoperated





# Rentgenový dalekohled – data z vesmíru

## First images in full resolution

Full resolution n.386, 1.0 s exposure, TOT mode, 2017-07-13 10:17:57

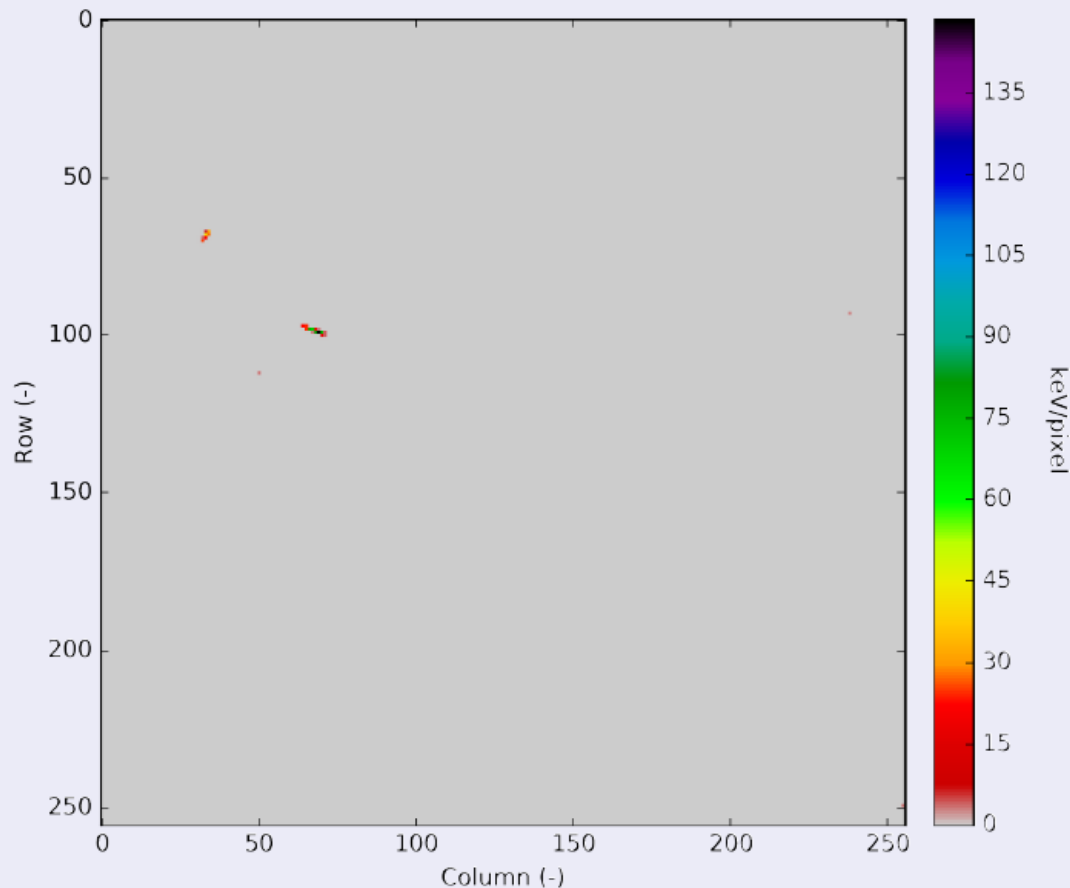
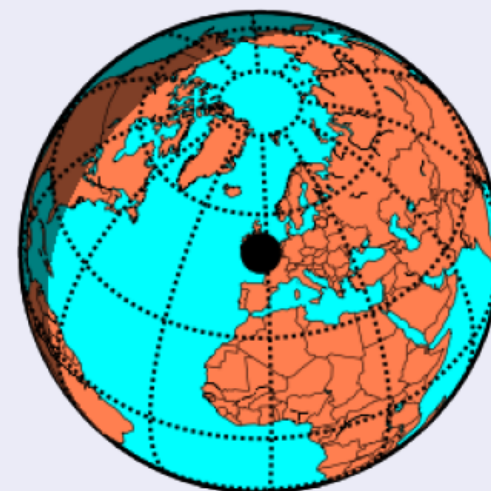


Image ID: 386  
Exposure time: 1.0 s  
Control: teleoperated





# Rentgenový dalekohled – data z vesmíru

## Verifying the noise level

Full resolution n.399, 20.0 s exposure, TOT mode, 2017-08-09 20:26:42

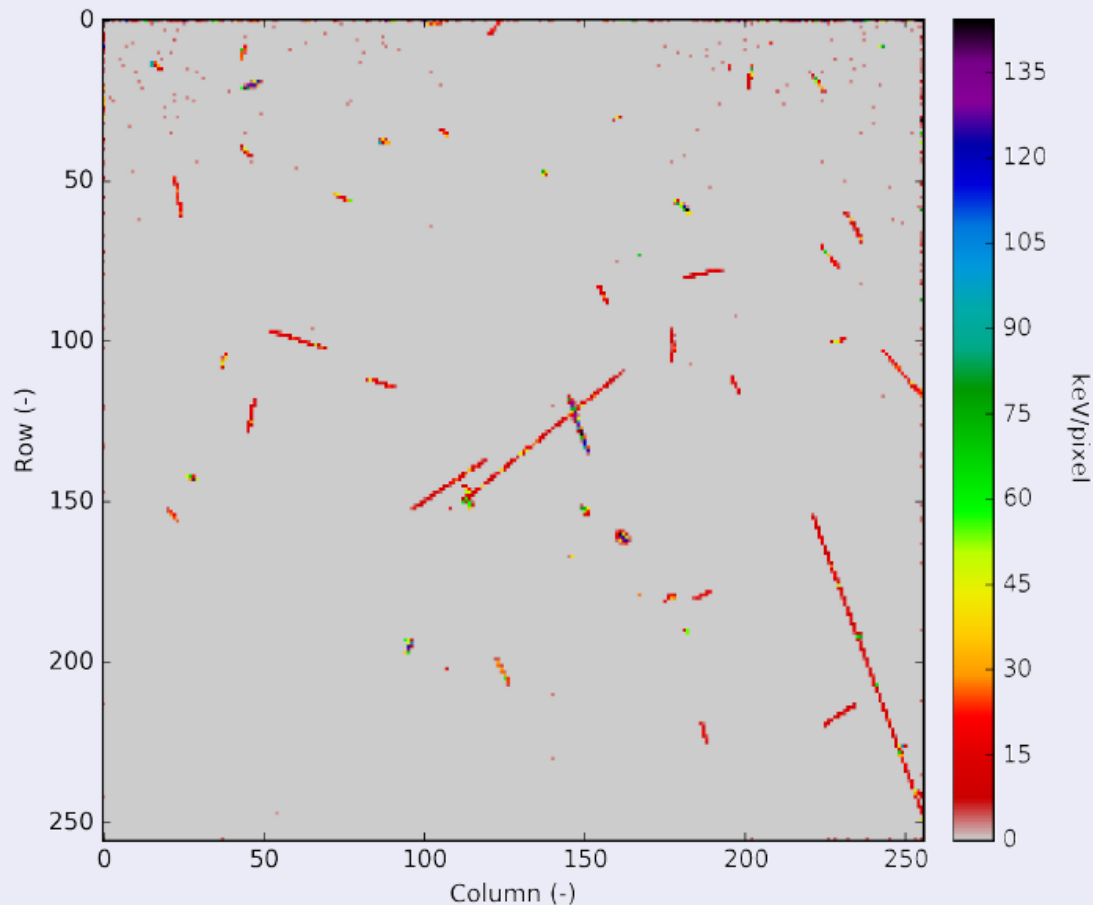
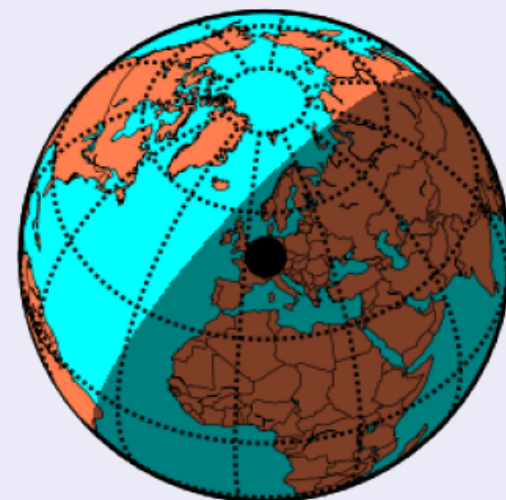


Image ID: 399  
Exposure time: 20.0 s  
Control: teleoperated

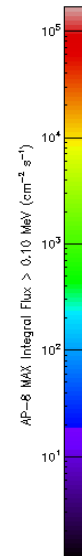
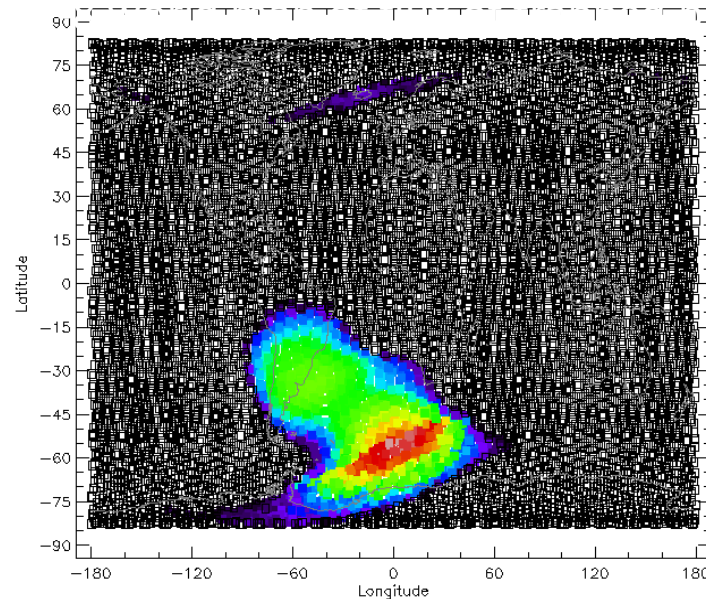
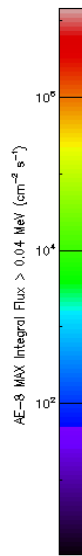
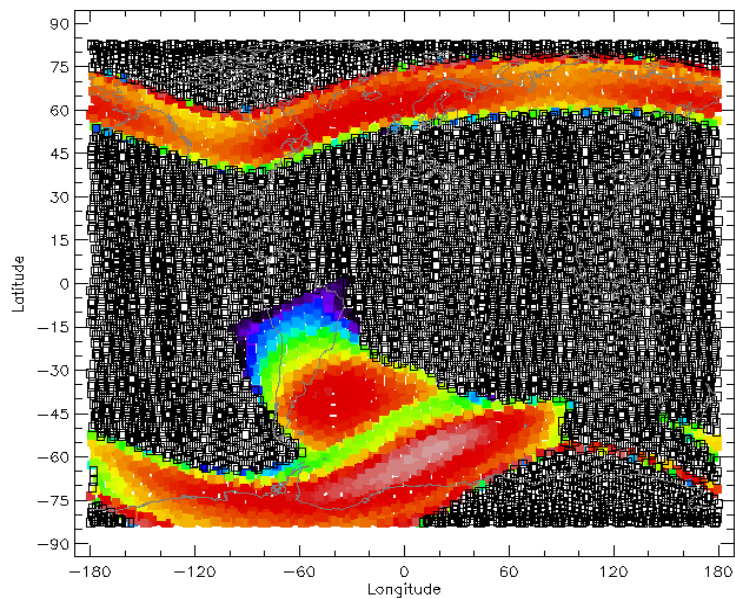
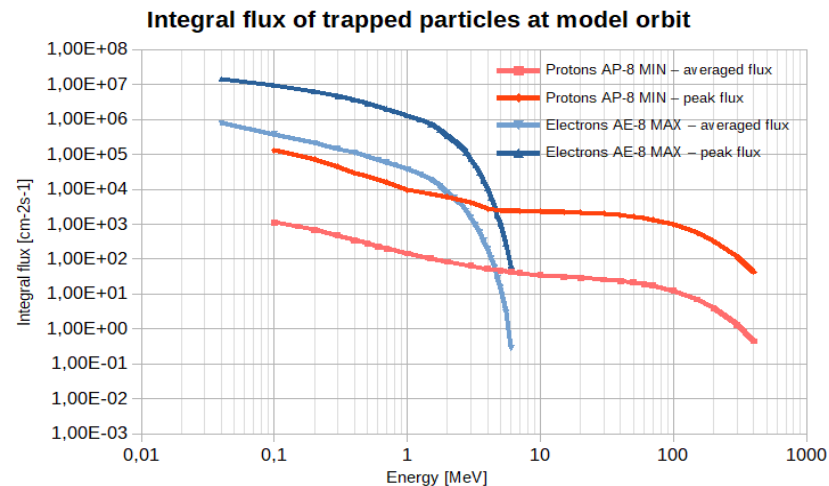






# Radiační prostředí kolem Země

Energy spectra of trapped particles for the model mission were generated using SPENVIS. Integral fluxes of trapped particles at the model SSO 500km orbit are shown at figure. The distribution of the particles along the orbit is shown at world maps.

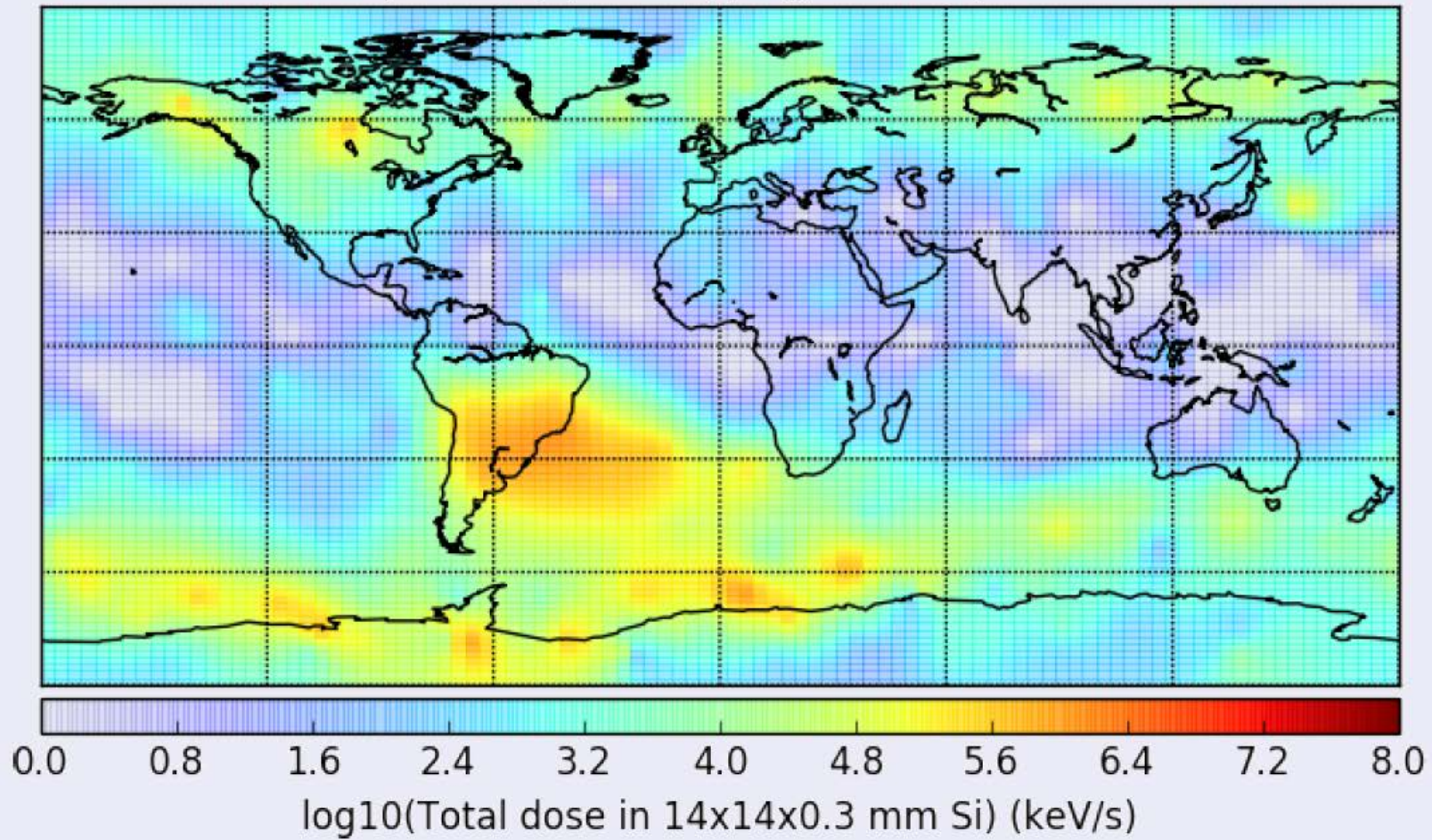




# Rentgenový dalekohled – data z vesmíru

## 2rd Earth dosimetry

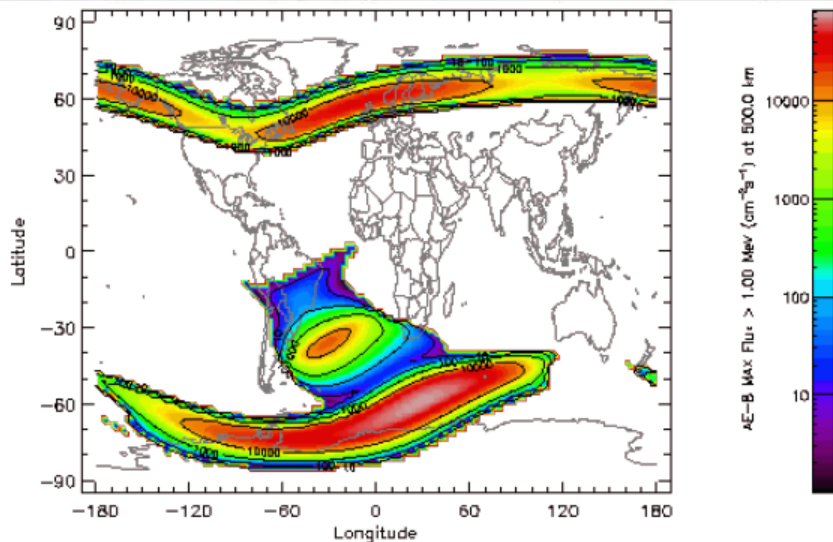
RBF multiquadric (eps=1.0), log10 scale, 30-31.8.2017



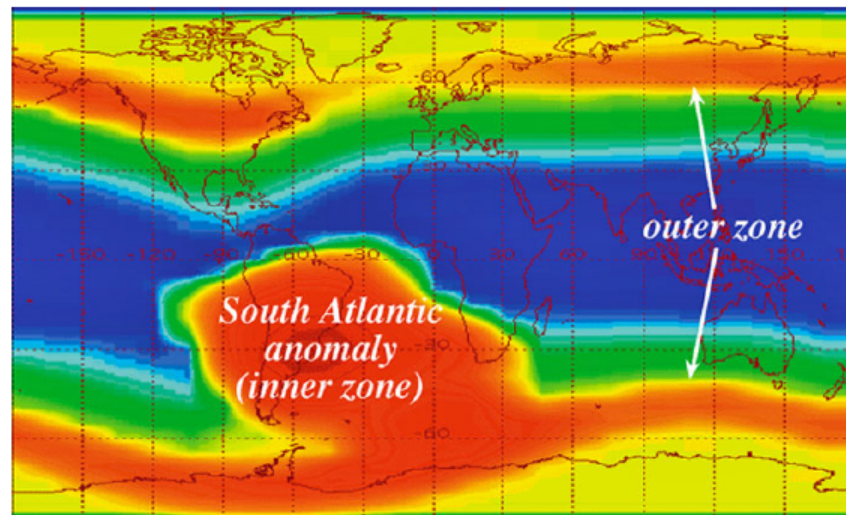




# Radiační mapa Země

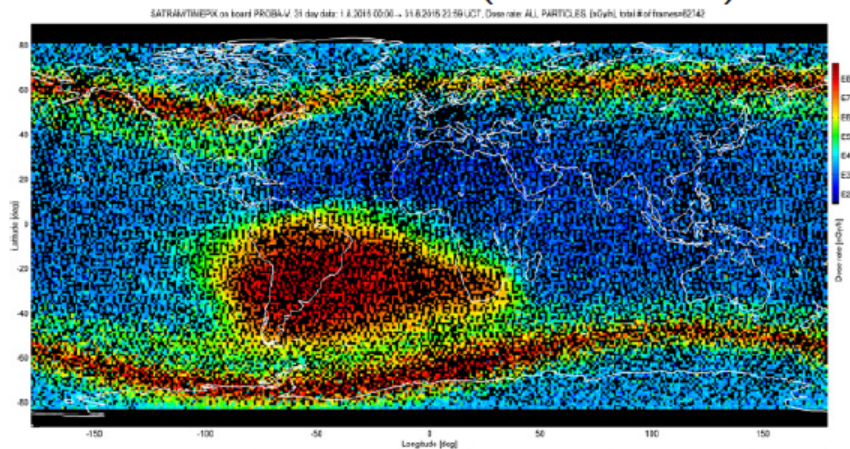


source: NASA (SPENVIS)

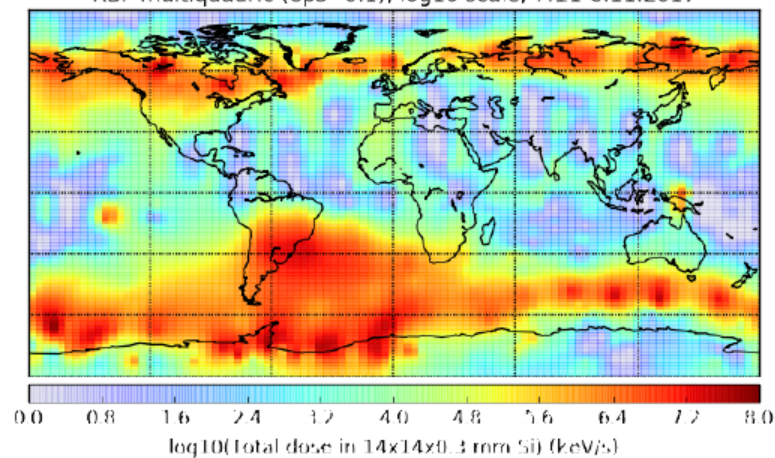


source: NASA (SAMPEX)

RBF multiquadric (eps=0.1), log10 scale, 7.11-8.11.2017



source: ESA (SATRAM)

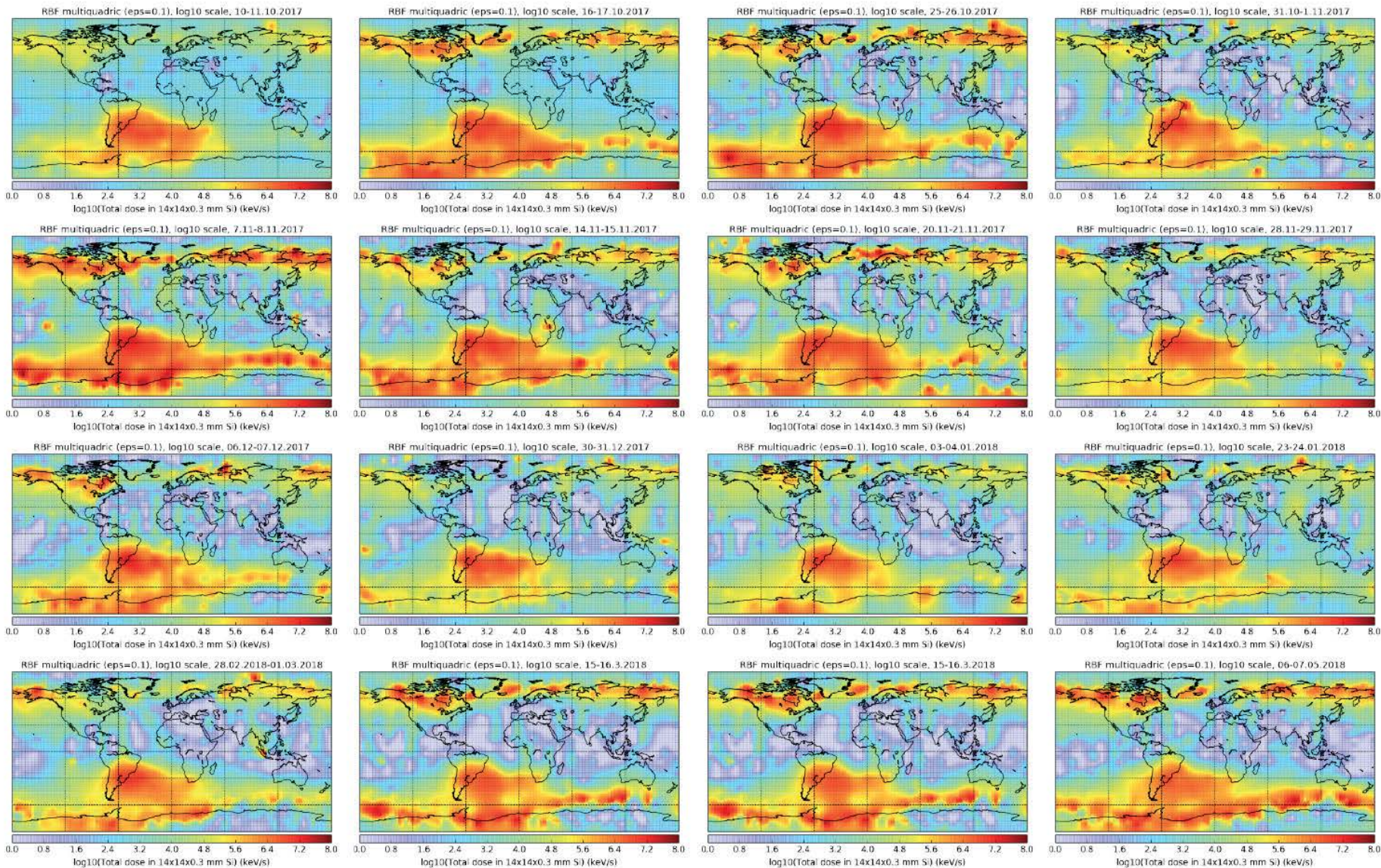


source: VZLUSAT-1





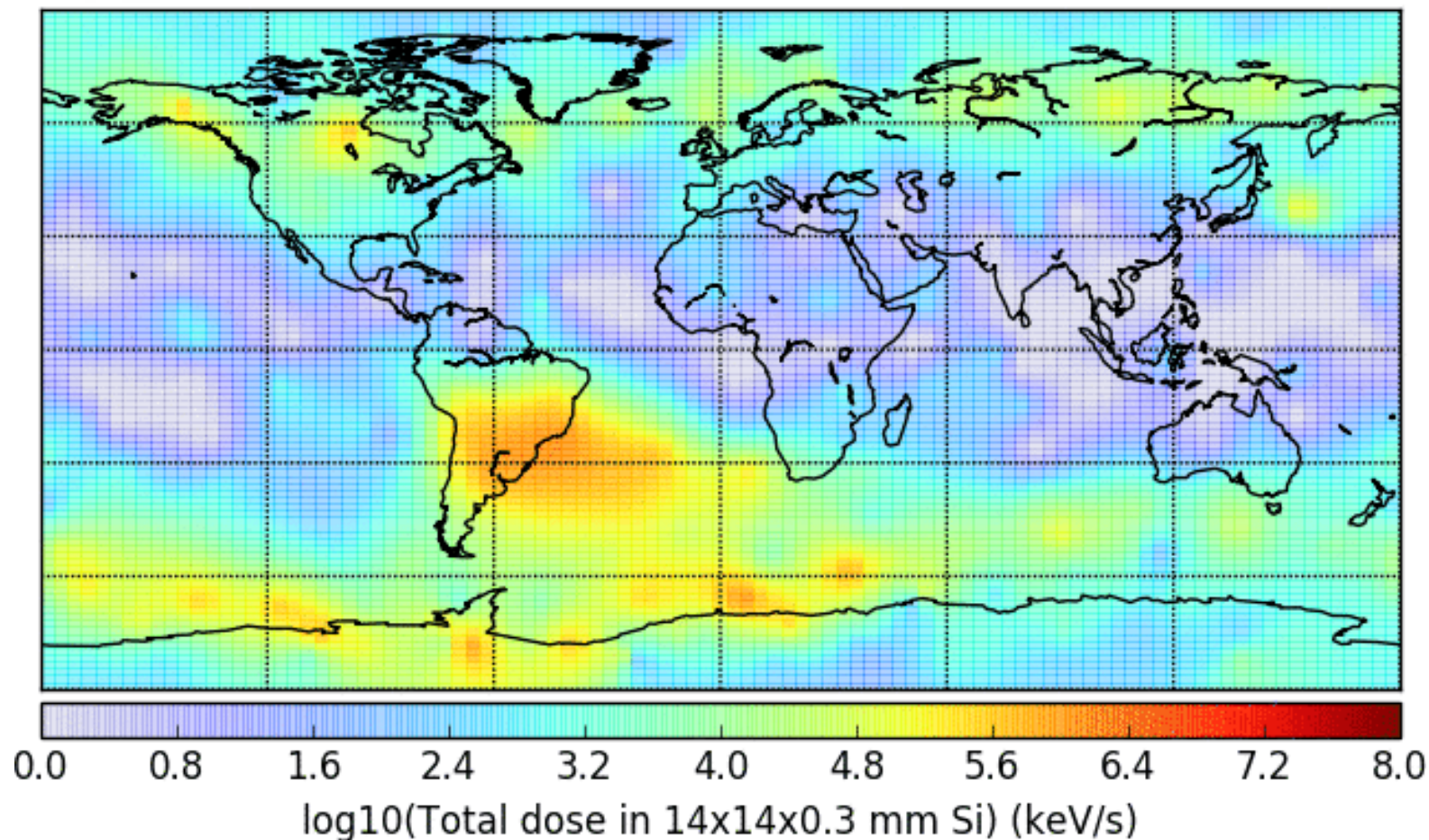
# Radiační mapy měřené nanodružicí VZLUSAT-1







# Radiační mapy měřené nanodružicí VZLUSAT-1



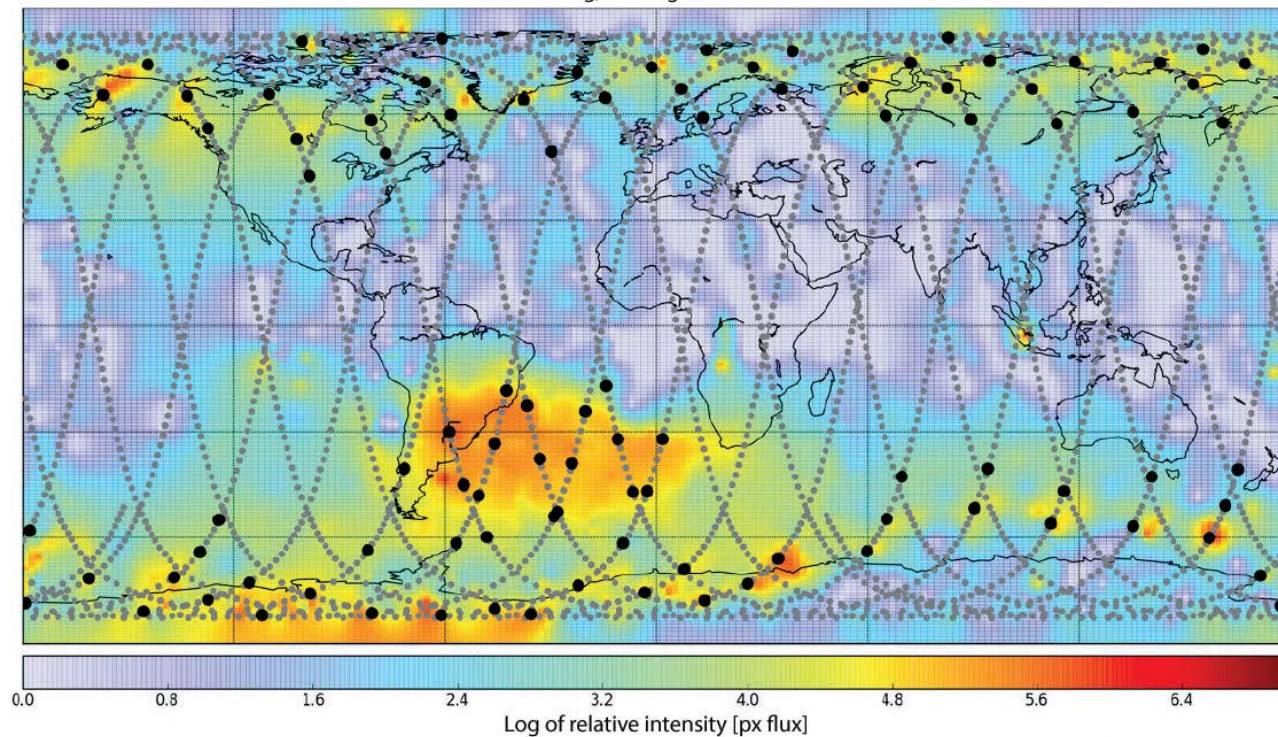
Charged particle and X-ray field integrated dose rate [keV/s]. By one and half year of operation VZLUSAT-1 made 30 000 frames by TIMEPIX detector of Miniaturized X-ray telescope. Onboard data compression necessary: 7500 MB (raw data) 35 MB (downloaded) by UHF radio download capacity is 80-200 kB per day.



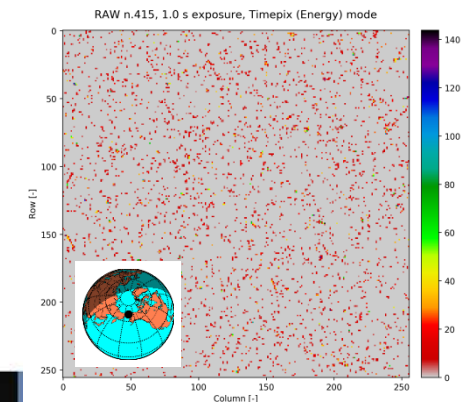
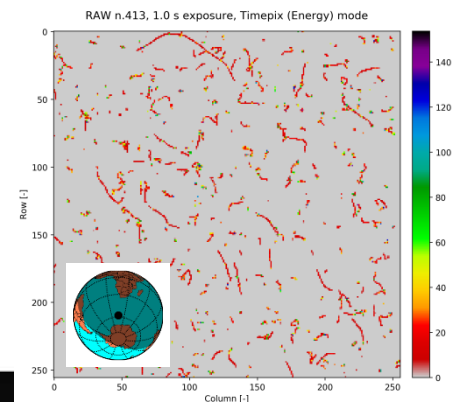
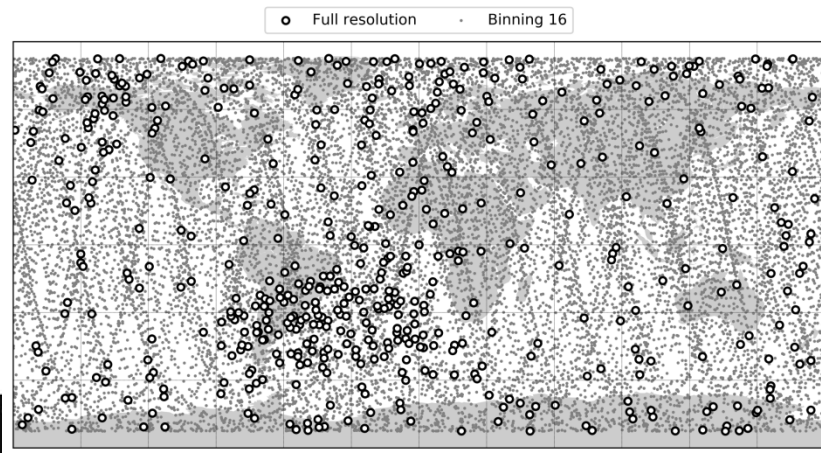


# Popis procesu měření radiálních map

Polar belts scanning, starting on 14.03.2018 20:00:00



The radiation map measurements are ongoing in week intervals. The downlink limit permits only a one day measurement with a week repetition. Full resolution pictures at the position of high intensity of the radiation belts such as the SAA and near poles are taken.

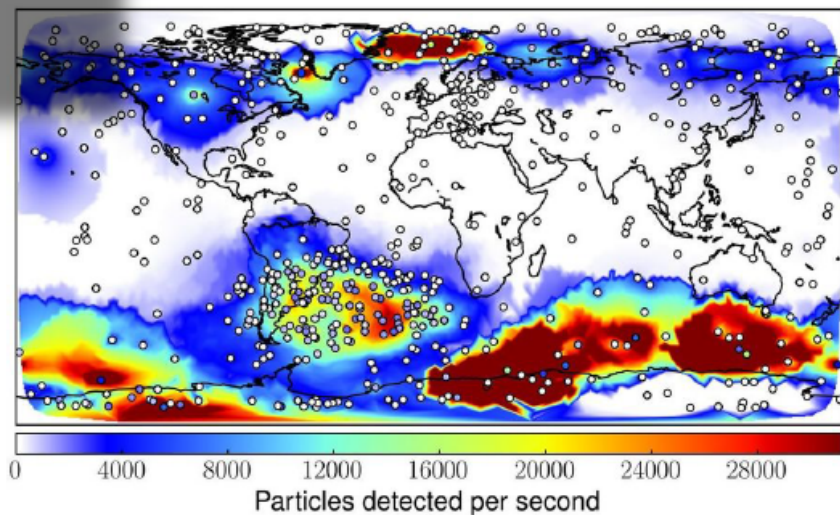




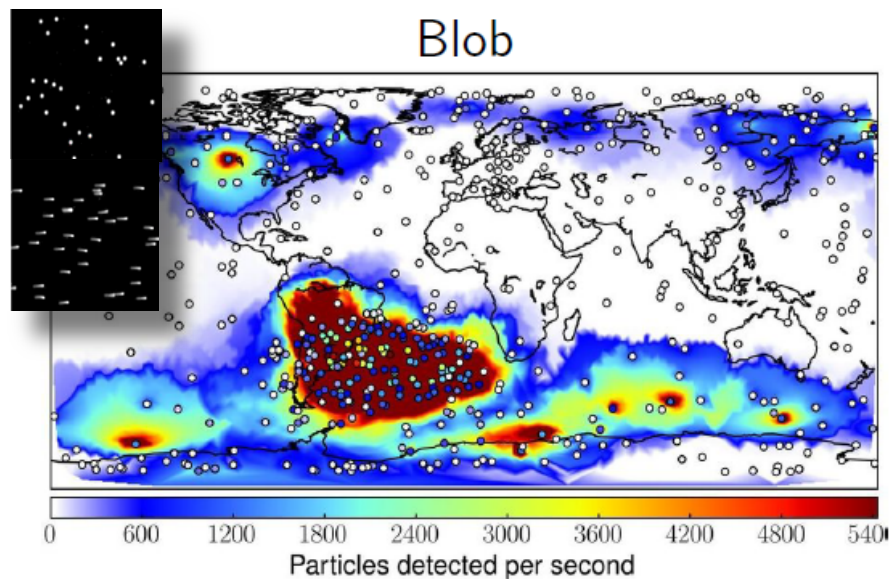


# Rozdělení map podle druhu stopy

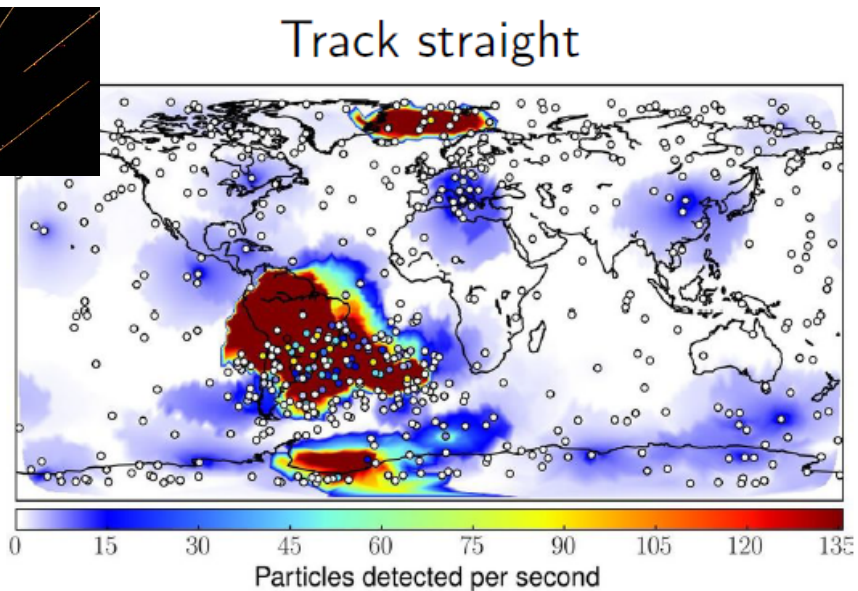
Dot



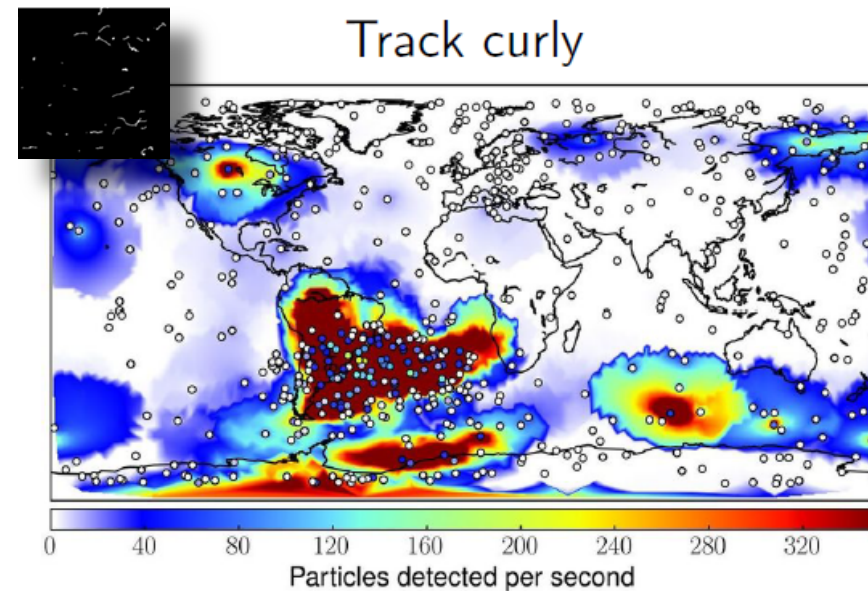
Blob



Track straight



Track curly

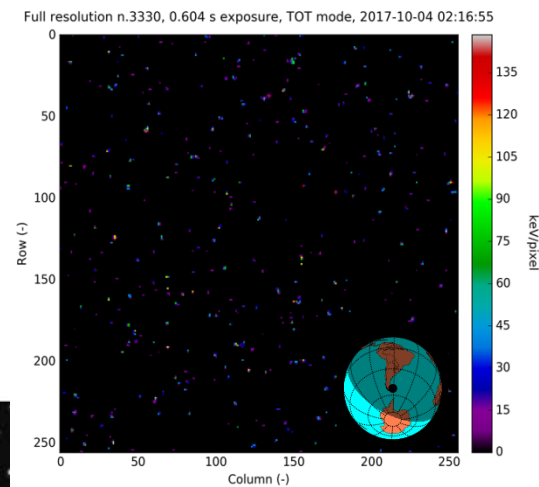
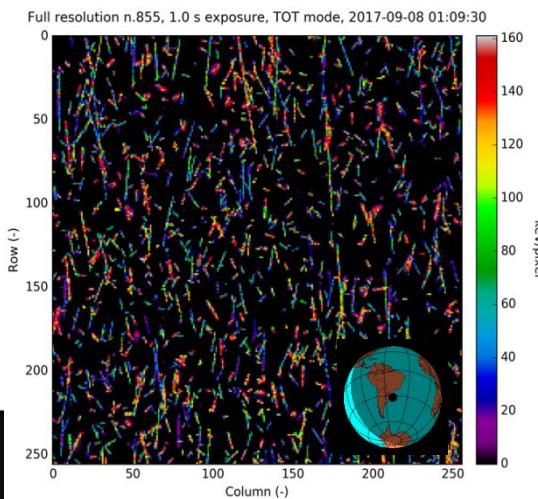
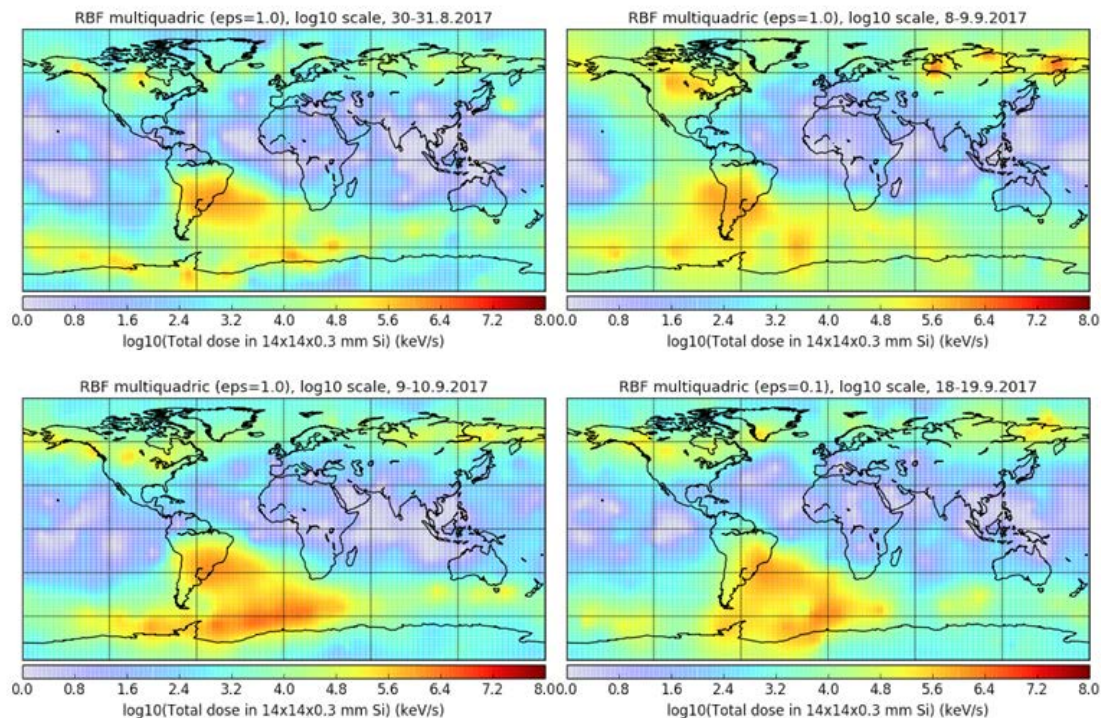
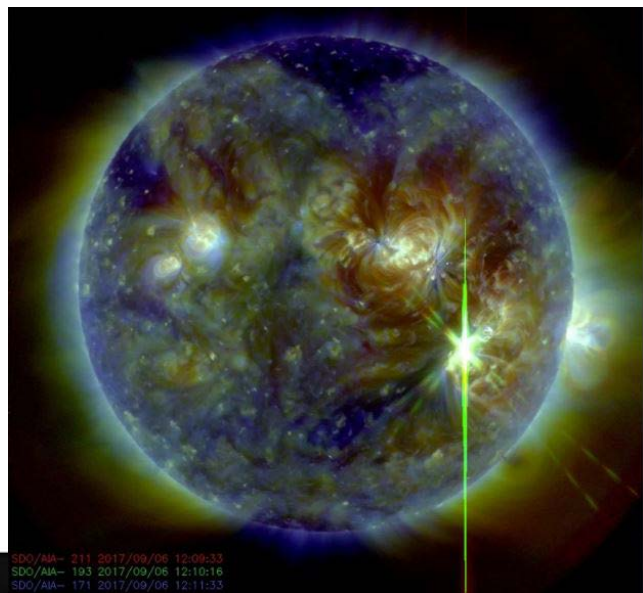






# Vědecký přesah VZLUSAT-1

Thanks to the continuous operation by VZLUSAT-1 and operation of the Timepix payload, we can see the variation in the radiation maps. The biggest variation of the radiation maps was observed on 8-9.9.2017 following the Sun's large X9.3 Solar Flare on September 6, 2017.





# Děkuji za Vaši pozornost!

Děkujeme za podporu poskytnutou TA ČR,  
projekt TA03011329 a TA ČR projekt TA04011295



**Vladimír Dániel**

Výzkumný a zkušební letecký ústav, a.s.

Beranových 130

Praha

Česká Republika

daniel@vzlu.cz