

## Stručný úvod pro OK2KOJ

# Nanosatелity

## CubeSat a PocketQube

Aleš Povalač, OK2ALP

Ústav radioelektroniky, FEKT VUT v Brně

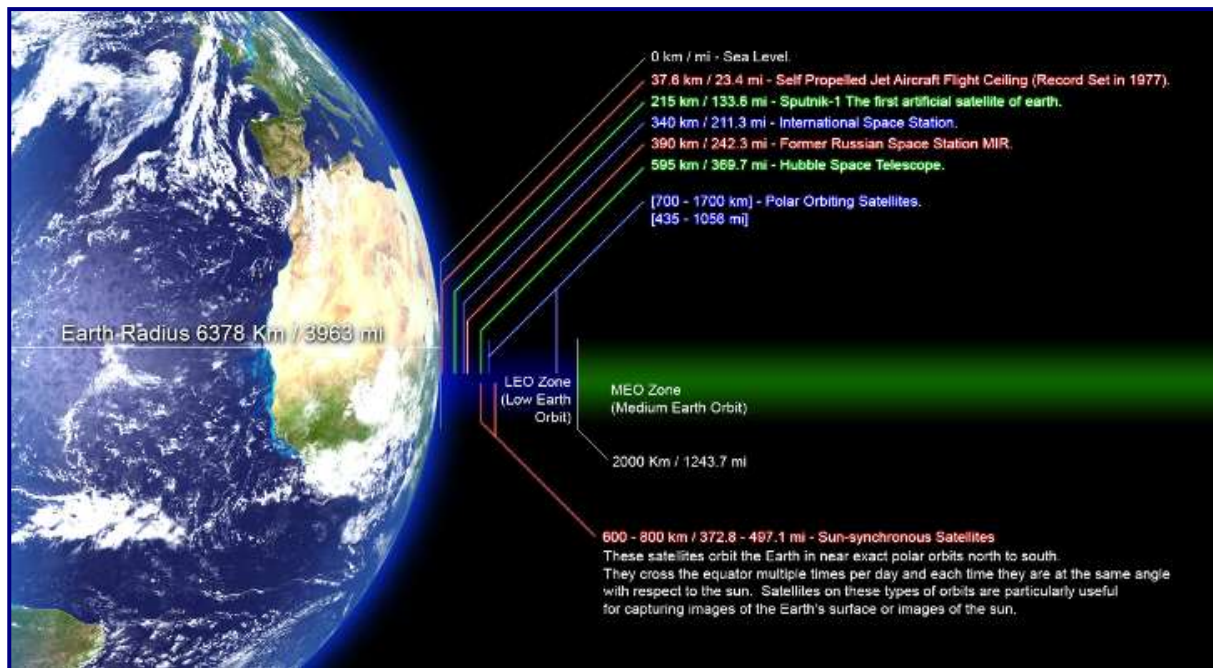
# Základní parametry

- CubeSat – miniaturní satelit složený z modulů velikosti 10x10x10cm o max. hmotnosti 1,33kg
- počet modulů: nejčastěji 1U, 1.5U, 2U, 3U
- určeno k uvolnění (deploy) z P-PODu (Poly-Picosatellite Orbital Deployer)
- PocketQube – vyšší miniaturizace, modul velikosti 5x5x5cm o max. hmotnosti 0,25kg

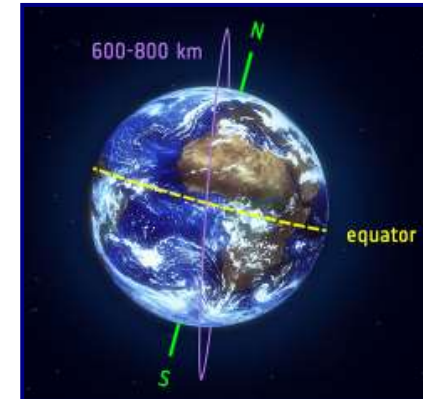
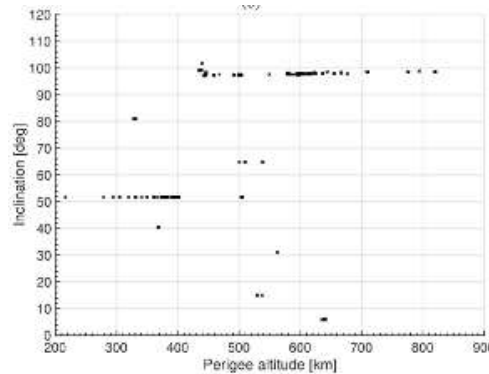
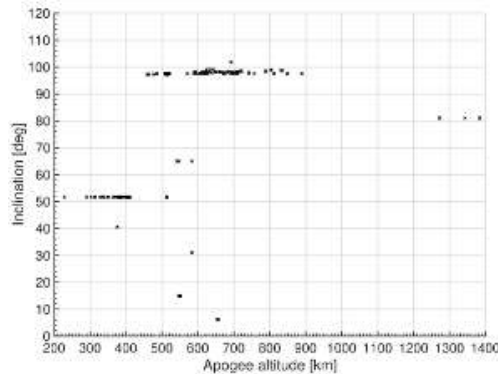


# Orbita I.

- cílem LEO, tj. do 2000km, perioda obletu cca 1,5h
- většina umělých vesmírných objektů je na LEO



- nejvyžívanější dráhy: excentricita  $\sim 0$ , rychlost  $\sim 7\text{km/s}$ 
  - výška 300-500km, inklinace  $52^\circ$  (ISS 406-411km)
  - výška 500-800km, inklinace  $98^\circ$  (SSO)
- SSO = heliosynchronní dráha
  - na stejném místě ve stejném místním čase => snímkování
  - oblast svítání/soumraku => kontinuální oslunění družice



# Deployer, sdílené mise

- pro deploy se využívá dispenser, prvním byl P-POD (Poly-PicoSatellite Orbital Deployer) vyvinutý na CalPoly
  - sklopné dveře + pružina
  - rail-type CubeSat s kolejkami
- cena startu cca \$100k-\$300k
  - PocketQube ~\$25k
- rideshare = umístění mnoha satelitů na společném nosiči
  - tradiční: sekundární payload
  - dedikovaný: pro malé satelity
- launch broker/integrator
- vypouštění z ISS



# Transporter-1

SpaceX Falcon 9 (start 24.1.2021)



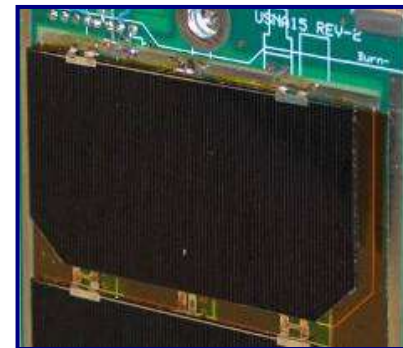
- On-Board Computer
- mikrokontrolér, paměti, komunikační rozhraní
- management telemetrie, sběr dat, reakce na povelování
- od AVR – přes MSP430 a ARM Cortex-M – až po Linux
- centralizovaný vs. decentralizovaný systém
  - složitost decentralizace
  - single point of failure
- rad hard součástky, redundance



- nejčastěji VHF (2m, 144 MHz) a UHF (70cm, 432 MHz), L-band (23cm, 1,3 GHz) a S-band (2,2 GHz)
- radioamatérská nebo komerční pásma
- digitální přenos
  - fyzická vrstva (L1): AFSK 1200Bd, FSK 9600Bd (G3RUH)
  - linková vrstva (L2): protokol AX.25
  - experimenty s LoRa modulací
- lineární transpondér
  - plně duplexní provoz
  - "překlopení" části spektra do jiného kmitočtového pásma
- max. výkon typicky ~1W
- ztráta spojení => konec mise



- Electrical and Power System
- solární panely
  - GaAs 3J panely: efektivita ~28%
  - běžné Si polykrystalické: efektivita ~10-15%
- akumulátory
  - Lilon, typicky 18650 – vyžadují MPPT regulátory, balancing
  - NiCd – bezpečné, odolné
- obvyklá systémová napětí: VBAT (6-8V), 5V, 3V3
- monitoring, supervizor s watchdogem, ochrany

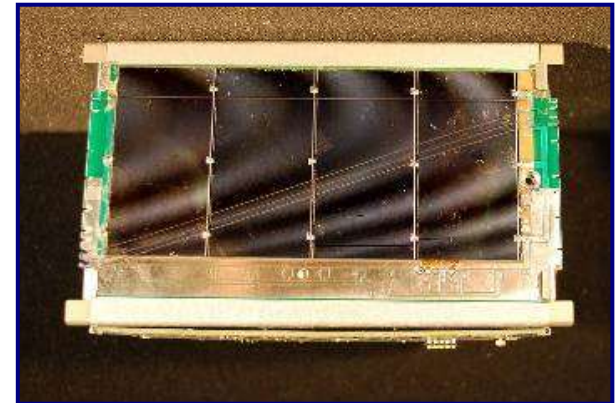
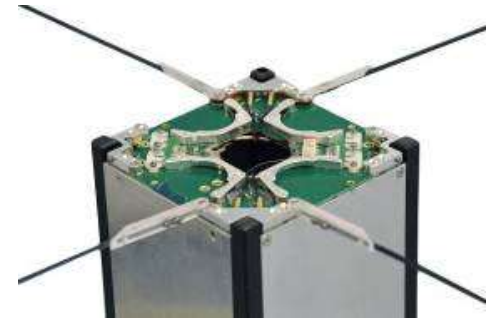


- Attitude Determination and Control System
- tříosá stabilizace vs. stabilizace rotací (gyroskopický efekt)
- senzory: magnetometr, gyroskop, směrování země/slunce/hvězdy
- úprava orientace:
  - reakční (momentové) kolo: rychlé, vyžaduje desaturaci
  - magnetorquer (momentová tyč): pomalé, interakce s mag. polem země
  - pasivní stabilizace (permanentní magnet)
  - trysky (velké družice)



# Uvolnění antén

- nejčastěji využívány materiály s tvarovou pamětí (dipól)
  - nitinol
  - svinovací metr
- **uvolnění** pomocí přepálení silonu
- minima signálu vlivem pomalé rotace satelitu – osa dipólu
- profi řešení (ISISpace... 5.5k€)

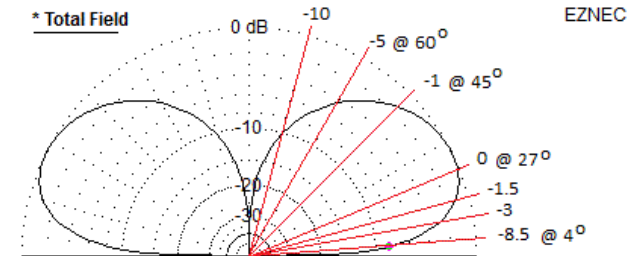
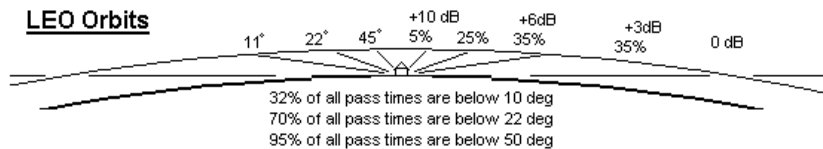


# Datová bilance a bilance spoje

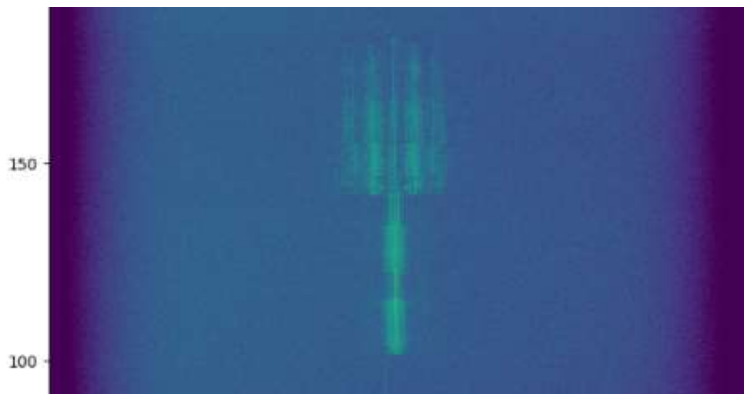
- datová bilance = kolik dat zvládne rádiový kanál
  - VHF, UHF: 1200Bd nebo 9600Bd (pro video rozhodně nestačí)
  - S-band: až 5-10 Mbit/s (pouze downlink, obvykle MPEG-TS a H.264)
- bilance spoje (link budget), **řádově**:
  - vysílač  $\sim 30\text{dBm}$  (1W downlink),  $\sim 50\text{dBm}$  (100W uplink)
  - ztráty šířením  $\sim 150\text{dB}$
  - zisk pozemní antény  $\sim 10\text{dB}$
  - úroveň šumu  $\sim -130\text{dBm}$  pro  $B=20\text{kHz}$
  - výsledné SNR  $\sim 20\text{dB}$  (downlink),  $\sim 40\text{dB}$  (uplink)

# Pozemní stanice

- VHF+UHF **antény** s kruhovou polarizací
- **rotátor** pro azimut a elevaci
  - mechanicky náročná údržba
  - řídicí jednotka + připojení k PC
  - vhodný tracking software (např. Orbitron)
- transceiver + TNC + PC
- volitelně filtr (SAW) nebo LNA pro příjem
- první experimenty: všesměrová anténa GP  $\lambda/4$  s vodorovnými radiály



- otevřená síť pozemních stanic pro družicový příjem
- pro členy (provozovatele stanice) možnost plánování záznamu konkrétních přeletů
- dekódování známé telemetrie



## Observation #3179855

⊙ Timeframes are in UTC

satellite	44354 - PSAT-2
station	232 - VK5QI-AZ/EL
observer	Mark Jessop
status	Good
transmitter	Mode U SSTV active in sun
frequency	435.350 MHz
drift	10107 ppb
drifted frequency	435.354 MHz
mode	SSTV
timeframe	2020-11-22 06:24:11 2020-11-22 06:32:31
rise	322.0°
az	13.0°
set	77.0°
client version	1.4
metadata	{ 5 items }
plot url	

