

czCube - projekt české amatérské družice



Jaroslav Kousal
czCube, o.s.
2011

Česká amatérská družice



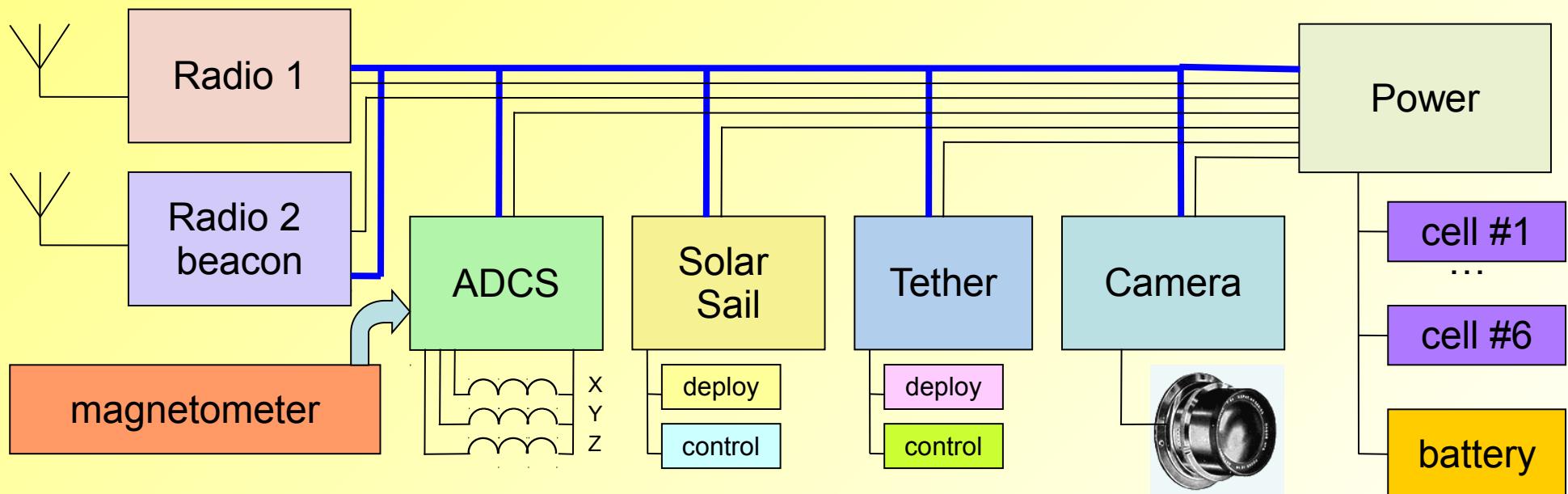
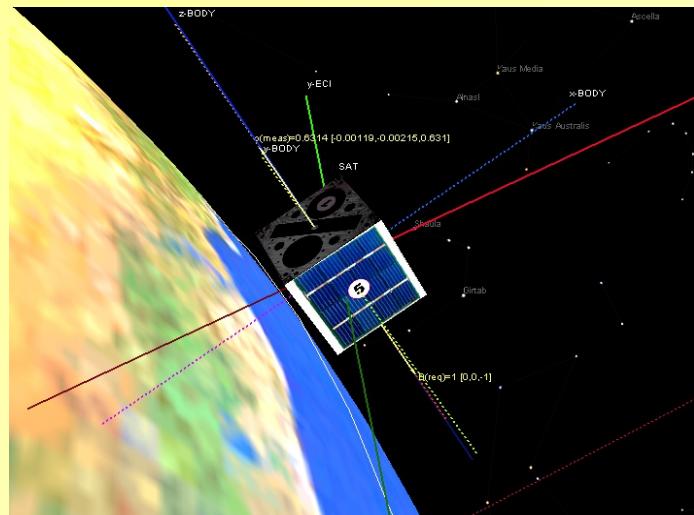
- Skupina nadšenců kolem fóra www.kosmo.cz
- jaro 2004 - návrh na stavbu pikodružice formátu CubeSat
 - první specifikace, akce "inzerát"
- podzim 2005 - jádro týmu (**EMP Centauri**)
- 2007 - czCube, o.s.
- Výhody a problémy amatérského řešení
 - + dobrovolnost, otevřenost
 - - projektové (ne)řízení
 - velice obtížné stanovovaní a dodržování termínů
 - složité udržování koncepce
- 2008 spolupráce s UJEP Ústí nad Labem
- 2010 po zhodnocení stavu projektu zásadní přehodnocení organizace projektu, konsolidace týmu (13 lidí)



czCube – koncepce řešení

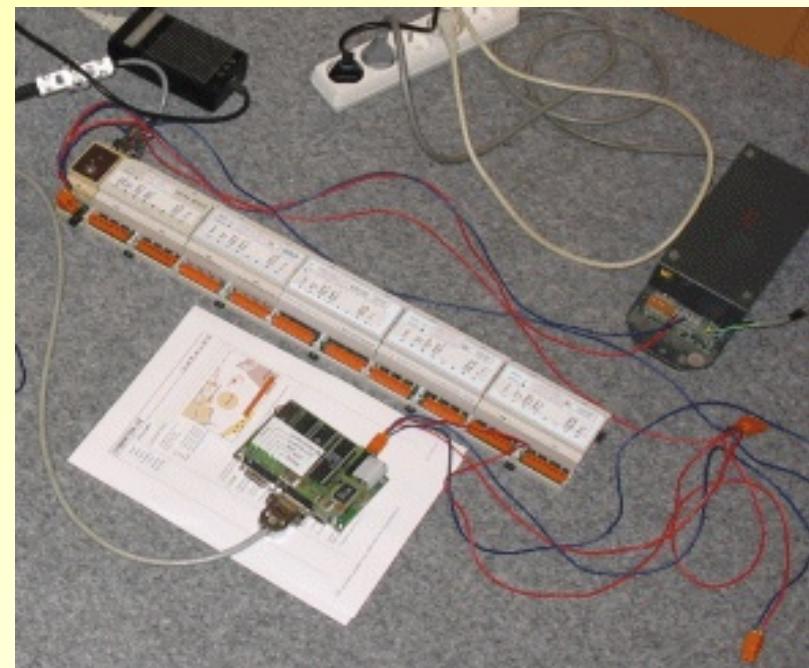
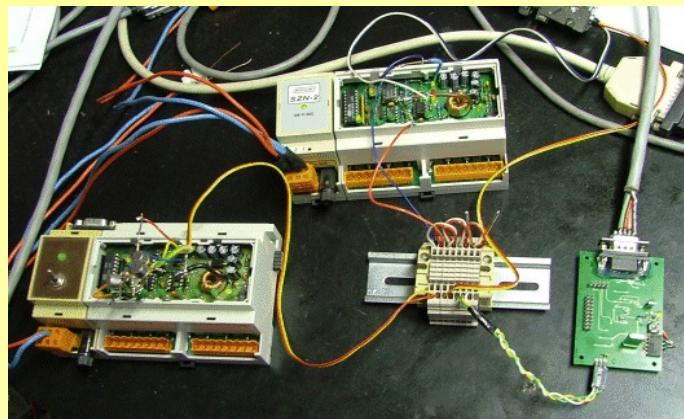
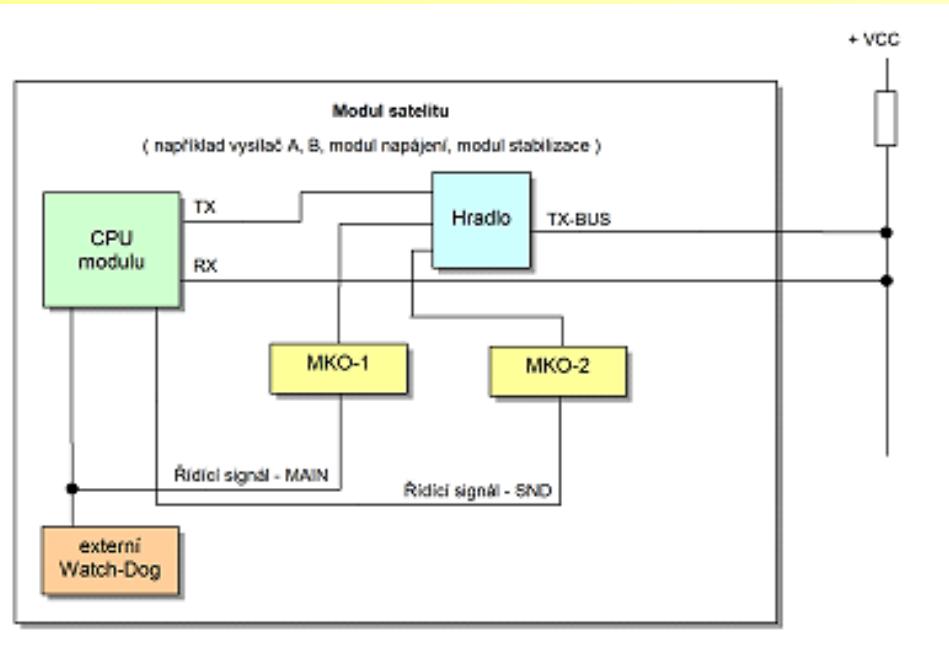
- nezávislé, inteligentní palubní moduly
- nezávislé napájení modulů
- zabezpečená palubní sběrnice
- klíčový modul = **napájecí zdroj**
- zdvojená nezávislá rádiová komunikace
- radiomaják jako SPZ
- prověření algoritmů simulacemi
- komplexní softwarový simulátor

www.triada.wz.cz



czCube – palubní sběrnice

- **Úkol:** přenos dat mezi moduly
- **odolnost proti výpadkům modulů!**
- jednoduchost, snadná implementace
- řešení: jednodrátová TTL OC sběrnice
- ochrana: dvojité hradlování časovačem
- arbitráž řeší protokol sběrnice
- fyzická vrstva: TTL OC, UART 57600,n,8,1
- linková: dva druhy rámců, datový a token
- stanice cyklicky střídají vysílání, D nebo T
- chybějící stanice zpomalí cyklus
- měřená propustnost: cca 2 KB/s pro 10 uzelů
- implementace: C pro AVR, x51
- převodník pro PC, uživatelská kom. knihovna



czCube – servisní moduly

- **Napájecí zdroj:** kritický, 2 palubní napětí, odolnost
 - oslunění dle RAAN, SSO => konstantní procento času
 - plocha článků na stěně ~80 cm², **účinnost** zdroje ~70 %
 - min. dostupný příkon na Slunci ~ **1,15 W**=> rozevírací stěny, vypínání systémů, úsporný HW



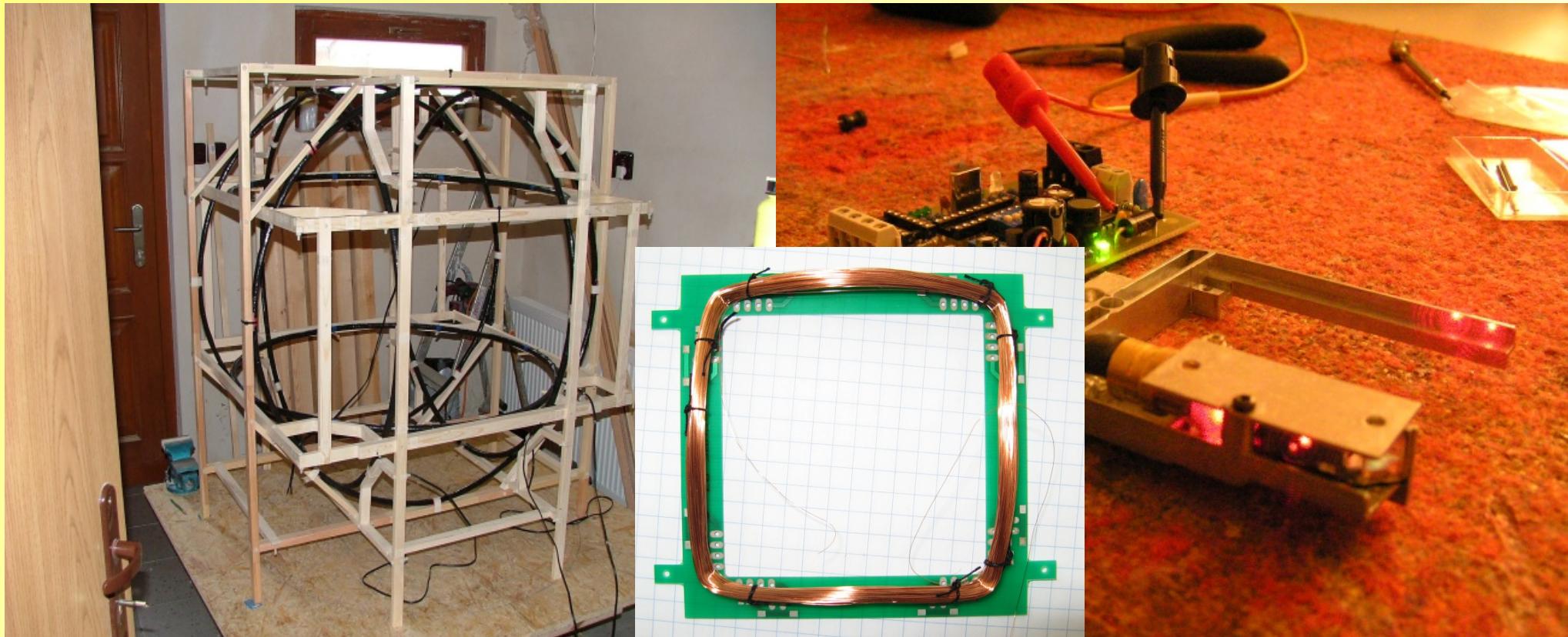
czCube – servisní moduly

Stabilizace: nezbytná, zastavit rotaci, udržovat orientaci

- přirozený stav: **náhodné kývání / rotace vlivem rušivých vlivů**

- problémy:

- určení pozice a orientace (FFT analýza MP, měření MP a oslunění)
- filtrace měření, regulační algoritmus (Kalmanovy filtry, PID, LQR)
- konstrukce (rozměry a umístění cívek, příkon)
- testování (stav vakua a beztíže, měření magnetometru)
- magnetická komora a torzní závěs (spolupráce s FVTM UJEP)



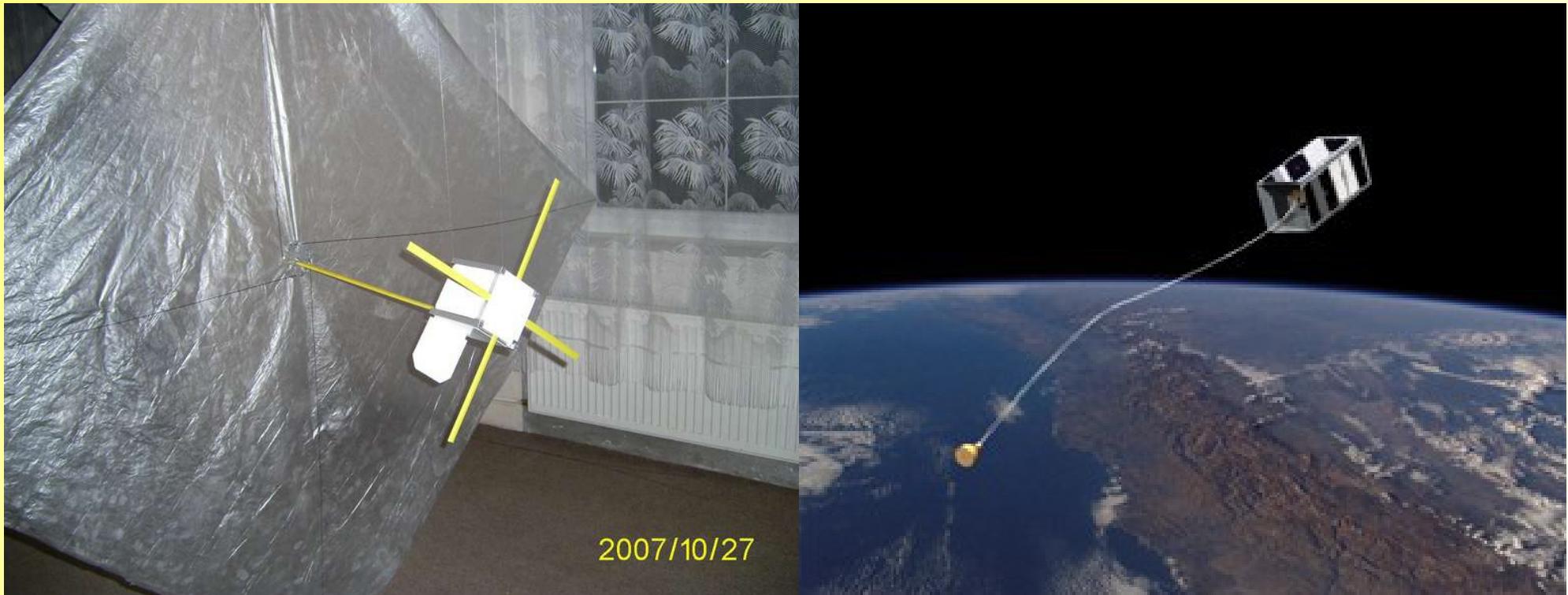
czCube – palubní experimenty

- **Palubní kamera** – snímkování pohonu, popř. povrchu Země
 - Požadavky: alespoň VGA, kapacita paměti alespoň několik snímků (ideálně >100), selekce a komprese přímo na palubě
 - 2 směry vývoje kamery
 - sofistikovaná (ARM, RAM >32MB, 2 Mpix, náročné)
 - průmyslová (640x480, jednočip AVR, uSD, dostupnější)



czCube – palubní experimenty

- Experiment s **neraketovým fyzikálním pohonem**
 - Sluneční **plachta** (2-4 m²), test rozvinutí a stability, tlak jen $9 \cdot 10^{-6}$ Pa (N/m²)
denní delta-V max. 0,7 ms⁻¹ (650 km), vliv na dráhu max. stovky m
 - Elektrodynamický **tether**
sofistikovaný pohon, velký závit uzavřený přes okolní plazmu
 - dokumentování kamerou, download snímků a telemetrie



czCube – radiomaják 435 MHz



- Úkol: vysílat radiomaják+základní telemetrii, příjem povelů
- Plánovaný **časový rozvrh** – cyklus CW maják, nižší výkon, vyšší výkon, pauza
- Základ: **výkonové a šumové rozpočty** obou přenosových tras (2300 km)

Rozpočet downlink spojení

1. výkon z palubního PA max. **300mW**
2. zisk antény 0 dBi, EIRP = -6,2 dBW
3. celkové ztráty trasy = -152 dB
4. zisk poz. antény 18 dBi (M2 cross Yagi)
5. útlum před LNA ~ -1 dB, LNA -114 dBm
6. zisk LNA ~ 22 dB (změřeno), F=0,6 dB
7. útlum svodu (10m H1000) ~1 dB
8. signál na vstupu RX **-94 dBm**
9. při citlivosti >-100 dBm **rezerva >4 dB**
10. šumová tepl. oblohy 435 MHz ~ 120 K
11. C/N na anténě = 26,2 dB
12. Eb/N0 pro 1k2 AFSK = **26,2 dB**

Rozpočet uplink spojení

1. výkon pozemního PA pesimisticky **20 W**
2. zisk antény 18 dBi, EIRP = 29 dBW
3. celkové ztráty trasy = -152 dB
4. zisk palubní antény 0 dBi (turnstile?)
5. útlum polarizace, switch ~ 3 dB (pesim.)
6. signál pro vstup integrovaného TRX
~ **-96 dBm**
8. při citlivosti >-100 dBm **rezerva >4 dB**
9. šumová teplota palubní antény 2300 K
(pesimistický odhad, prům. oblast)
11. C/N na anténě = ~ 35 dB
12. Eb/N0 pro 1k2 AFSK = **38 dB**

czCube – datový spoj 2.4 GHz

- Úkol: na základě povelů odesílat data, při dlouhé pasivitě částečně autonomně
- Náročnější konstrukce, větší datová propustnost

Rozpočet downlink spojení

1. výkon z palubního PA max. **200mW**
2. zisk antény 6 dBi, EIRP $\sim -2,5$ dBW
3. celkové ztráty trasy = -168 dB
4. zisk poz. antény 27 dBi (parabolický reflektor 115cm, 2,5z helix ozařovač)
5. útlum kabeláže před SWITCH $\sim -0,1$ dB
6. RX/TX přepínač, vložný útlum 0,8 dB (PIN-diody, při použití relé $\sim 0,2$ dB)
6. zisk LNA ~ 38 dB (změřeno), F $\sim 0,6$ dB
7. signál na vstupu RIG ~ -79 dBm
8. při citlivosti -93 dBm **rezerva 14 dB**
9. šumová teplota antény ~ 50 K (pesim.)
10. C/N na anténě = 19,3 dB
11. Eb/N0 pro 38k4 G3RUH = **14,6 dB**

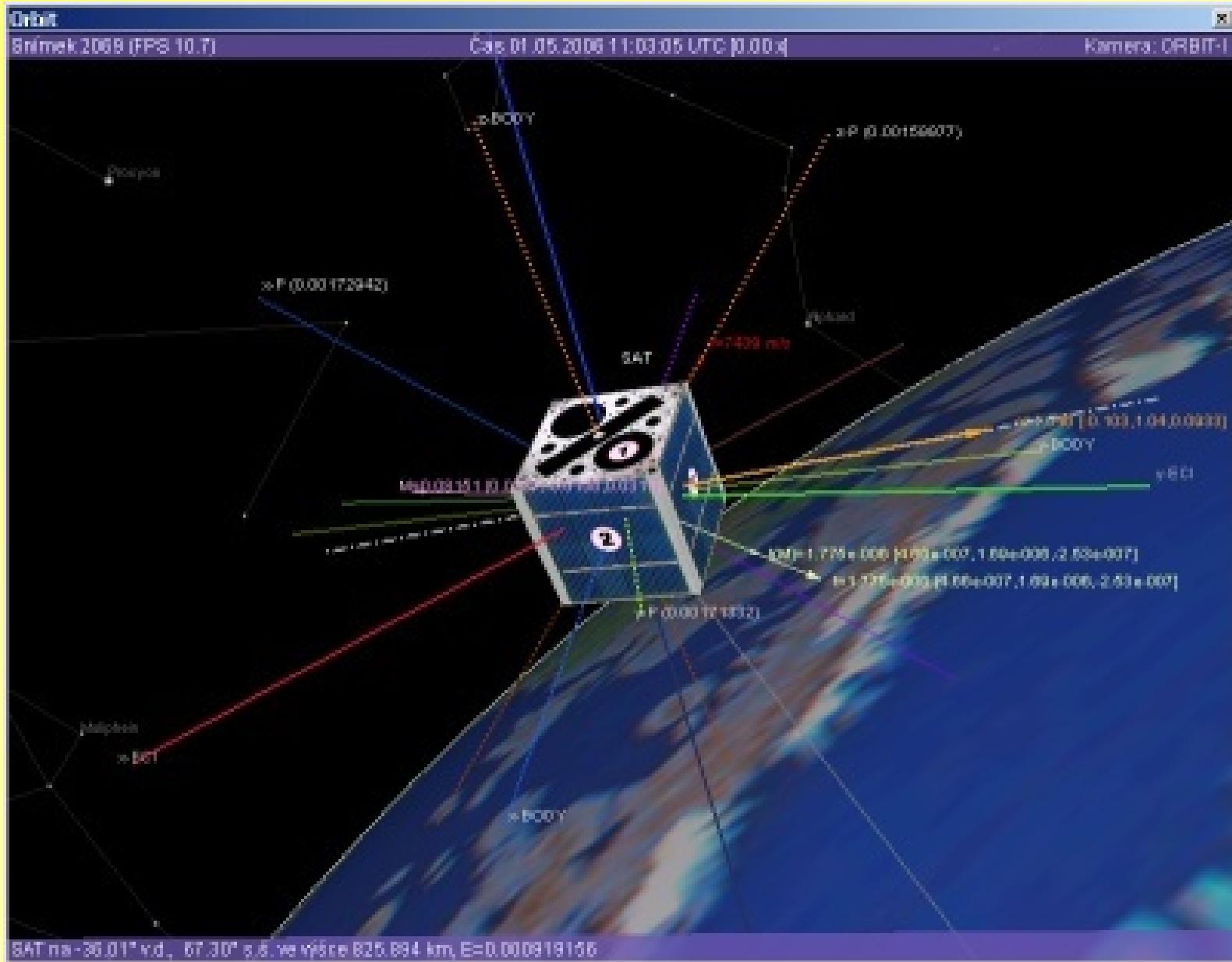
Rozpočet uplink spojení

1. výkon pozemního PA pesimisticky **5 W**
2. zisk antény 27 dBi, EIRP = 32 dBW
3. celkové ztráty trasy = -168 dB
4. zisk palubní antény 6 dBi (pesim. patch)
5. signál před LNA ~ -101 dBm
6. signál za LNA pro vstup integr. TRX ~ -71 dBm
8. při citlivosti -93 dBm **rezerva 22 dB**
9. šumová teplota palubní antény ~ 280 K
11. C/N na anténě ~ 24 dB
12. Eb/N0 pro 38k4 G3RUH = **22.8 dB**

Praxe ukáže nejvhodnější režim ...

Simulátor družice

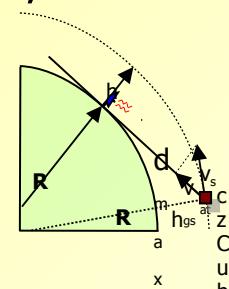
- Simulace fyziky i simulace vnitřních systémů družice vč. simulace komunikaci mezi subsystémy



czCube – pozemní stanice

Telemetrická a povelovací stanice czCube a **GES-ELECTRONICS, a.s.**

- **Sledování** družice – predikce dráhy pomocí SGP, TLE, **software** PC
- **Korekce Doppler** – softwarově řízené ladění, zvlášť RX,TX, přepínání
- Bezobslužná stanice řízená dálkově přes Internet (ala Mimoza)
- Konstrukce: **6m stožár** ze skelného laminátu, ocelový podstavec, návrh a realizace mechanické konstrukce J. Beran
- **Kotvení:** 4x ocelové lanko
- Rotátor: Yaesu GS5500 (sponzoruje **GES-ELECTRONICS, a.s.**)
- Řízení:
 - tracker PC freeware Orbitron (SGP4)
 - vlastní SW/HW pro povelování rotátoru + ladění TRX
 - failsafe sekvencer pro řízení přepínání RX/TX na bázi PLC
 - řídící PC (běžné Pentium 4, 200GB HDD, Win XP / Linux)
 - remote control: vzdálená plocha, VNC / Linux



Úvod
Aktuality

Vize

Historie

Družice

Nosná konstrukce

Napájení

Radiokomunikace

Orientace a
stabilizace

Kamera

Tether

Sluneční plachta

Pozemní stanice

Databáze paketů

Konfigurace stanice

Dokumenty

Tým a kontakty

Výsledky

Sdružení czCube

Partneři a sponzoři

SW simulátor

Fotogalerie

Konfigurace a stav pozemní stanice czCube

Listen: **ISS,MASAT**

Available: CAPE2, AENEAS, PCSAT, OOREOS, ArduSat, N3XT, ARTsat1, StarsM, StarsD, ShindaiSat

Track: **(none)**

Record: **MASAT**

Sat	Listen	Track	Record	Freq [MHz]	Mode	SSC	File/TLE	(del)
ISS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	145.825	FMN	25544	amateur.txt	<input type="checkbox"/>
CAPE2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	145.825	FMN	39382	cubesat.txt	<input type="checkbox"/>
MASAT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	437.34541	CW	38081	cubesat.txt	<input type="checkbox"/>
AENEAS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	437.600	FMN			<input type="checkbox"/>
PCSAT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	145.825	FMN	26931	amateur.txt	<input type="checkbox"/>
OOREOS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	437.305	FMN			<input type="checkbox"/>
ArduSat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	437.000	CW	25544	amateur.txt	<input type="checkbox"/>
N3XT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	145.930	FMN	39428	cubesat.txt	<input type="checkbox"/>
ARTsat1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	437.200	FMN			<input type="checkbox"/>
StarsM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	437.405	FMN			<input type="checkbox"/>
StarsD	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	437.425	FMN			<input type="checkbox"/>
ShindaiSat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	437.485	FMN			<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					(add)

[Save](#)

Poznámky:

- naše pozemní stanice je volně použitelná pro vaše radiová pozorování
- první 4 konfigurační záznamy jsou editovatelné jen členy týmu czCube
- další konfigurační záznamy můžete přidat/změnit/vymazat kdokoliv (anonymně)
- prosím, měňte jen svoje vlastní záznamy
- konfigurační limit je 20 záznamů
- vaše otázky a poznámky můžete posílat na aholub@centrum.cz

czcube.org

Aktuální data ze stanice: (a odkaz
na log stanice)

stav k 4.3.2014 11:20:09

antény: azimut=91° | elevace=11°

nastavení: lsn=ISS_MASAT | trk= |

rec=MASAT

družice: ISS (az=255° | el=20° |
vz=1038km)

další přelety:



Meteorologická data:

k 4.3.2014 11:20

teplota venku: 9.2 °C

teplota uvnitř: 9.8 °C

vlhkost vzduchu: 62 %

sat den tup aup tmax emax amax tdn adn

ISS 04 Mar 11:19 WSW 11:22 90 NW 11:25 ENE

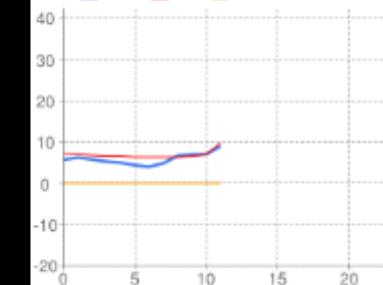
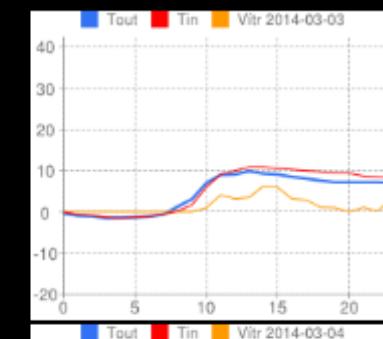
ISS 04 Mar 12:55 W 12:59 77 N 13:02 E

ISS 04 Mar 14:32 W 14:35 45 SSW 14:38 SE

poslední paket byl přijat 04.03.2014 11:19:23

F8NHA-6 -> CQ-0 , délka 90 B:

Hello du Sud de France (JN14JE) op;Christian -
Software:UISS v5.2.7



czCube – pozemní stanice (4/2011)



Anténní vybavení stanice:

- 1x UHF cross yagi M2 21 dBi
- 1x UHF homebrew OK1WTX cross yagi 13 dBi
- 1x VHF cross yagi Tonna 20818 13 dBi
- 1x rotátor Create AER-5

Přístroje (transceivery):

- 1x TRX 435-438 MHz, -120dBm, 7W
- 1x FT-817



czCube – partneři a sponzoři



CYBERTEX CZ



Díky za pozornost ...