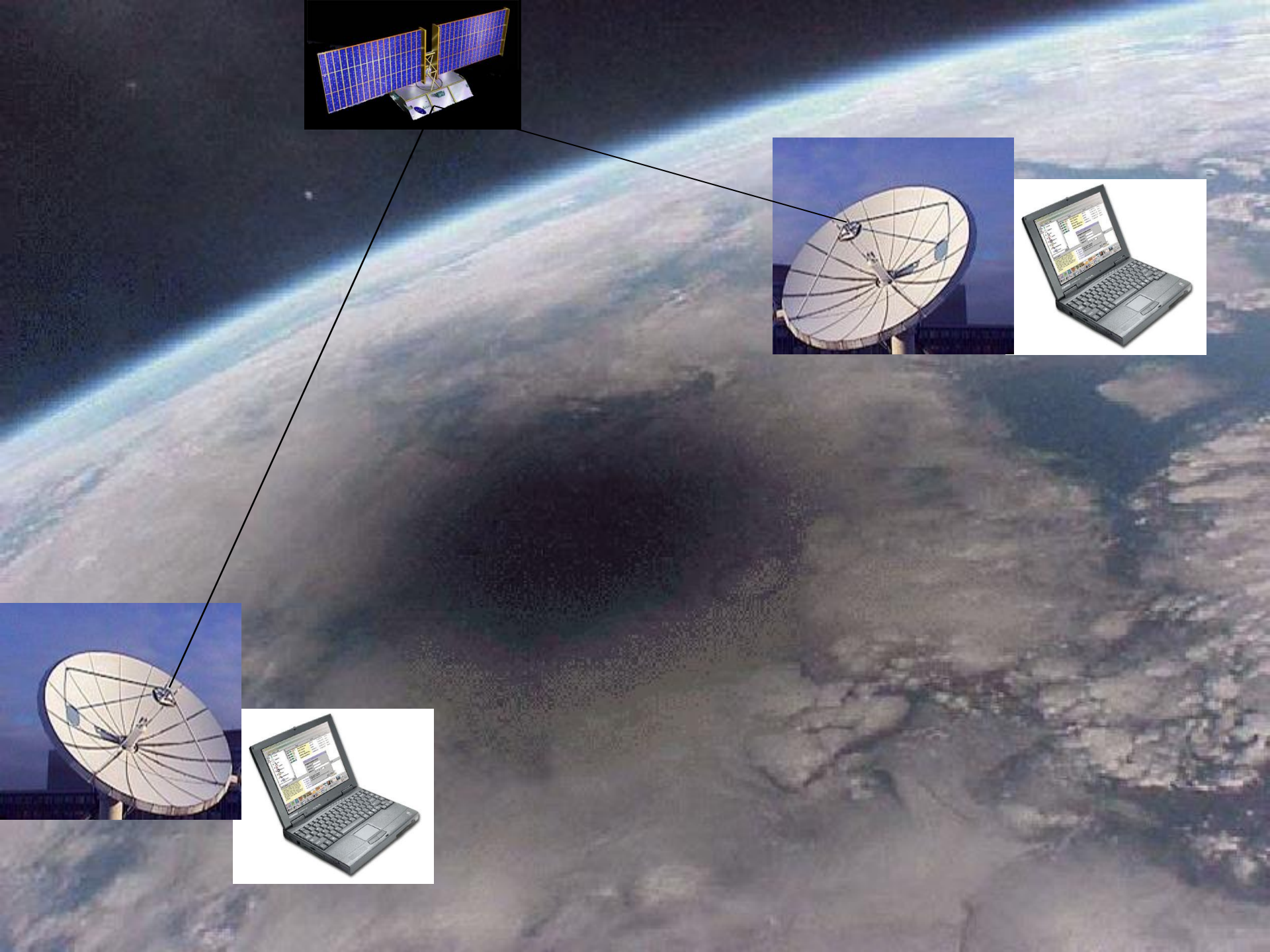
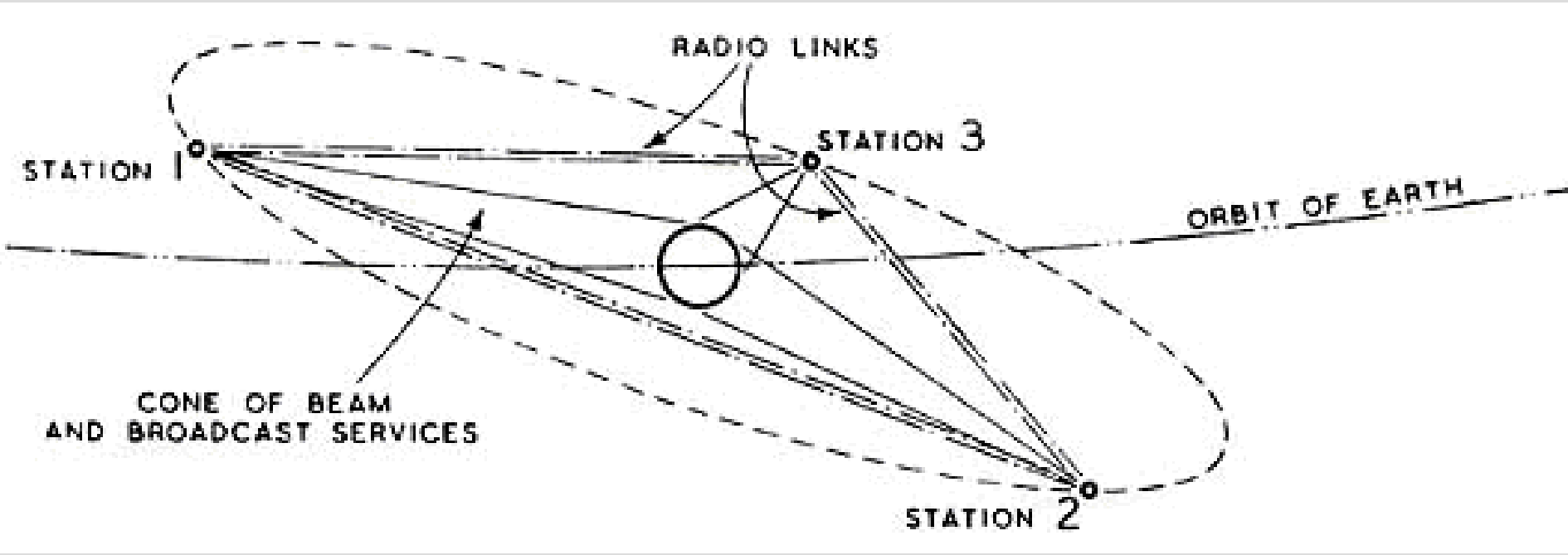
Družicové komunikační systémy

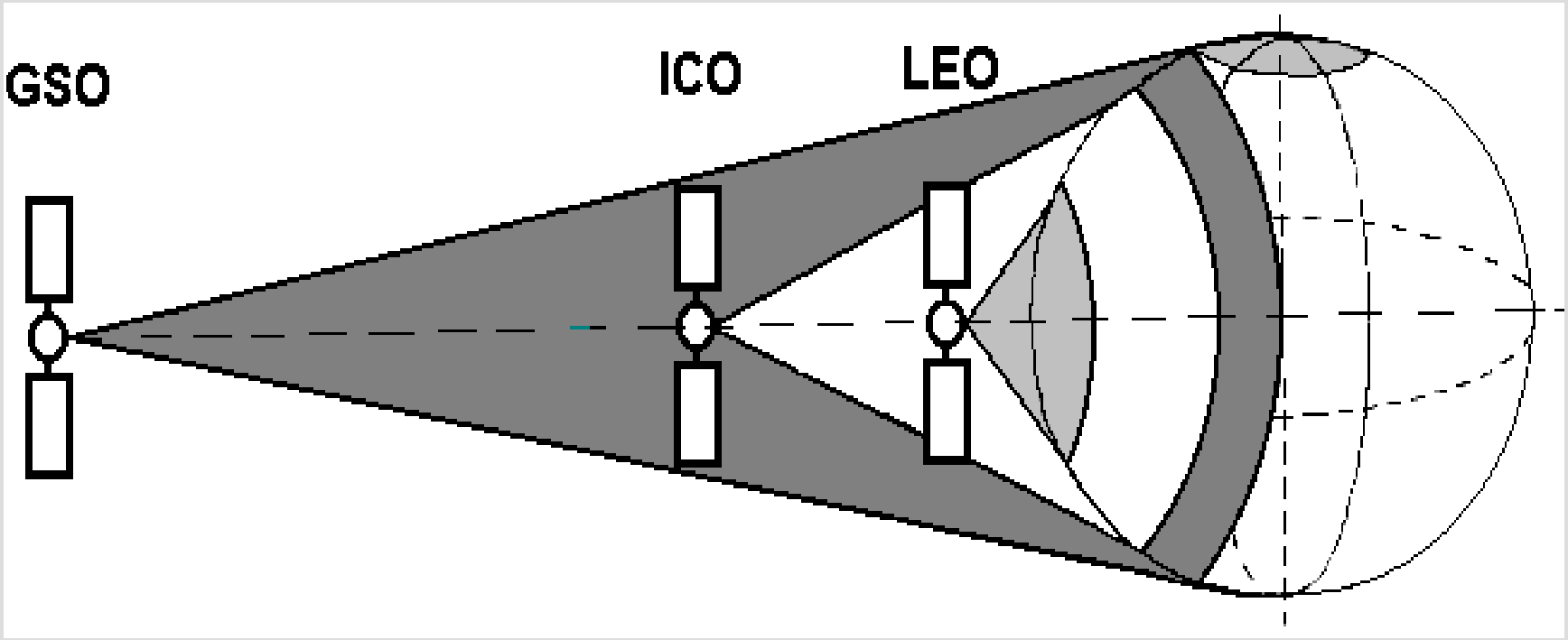


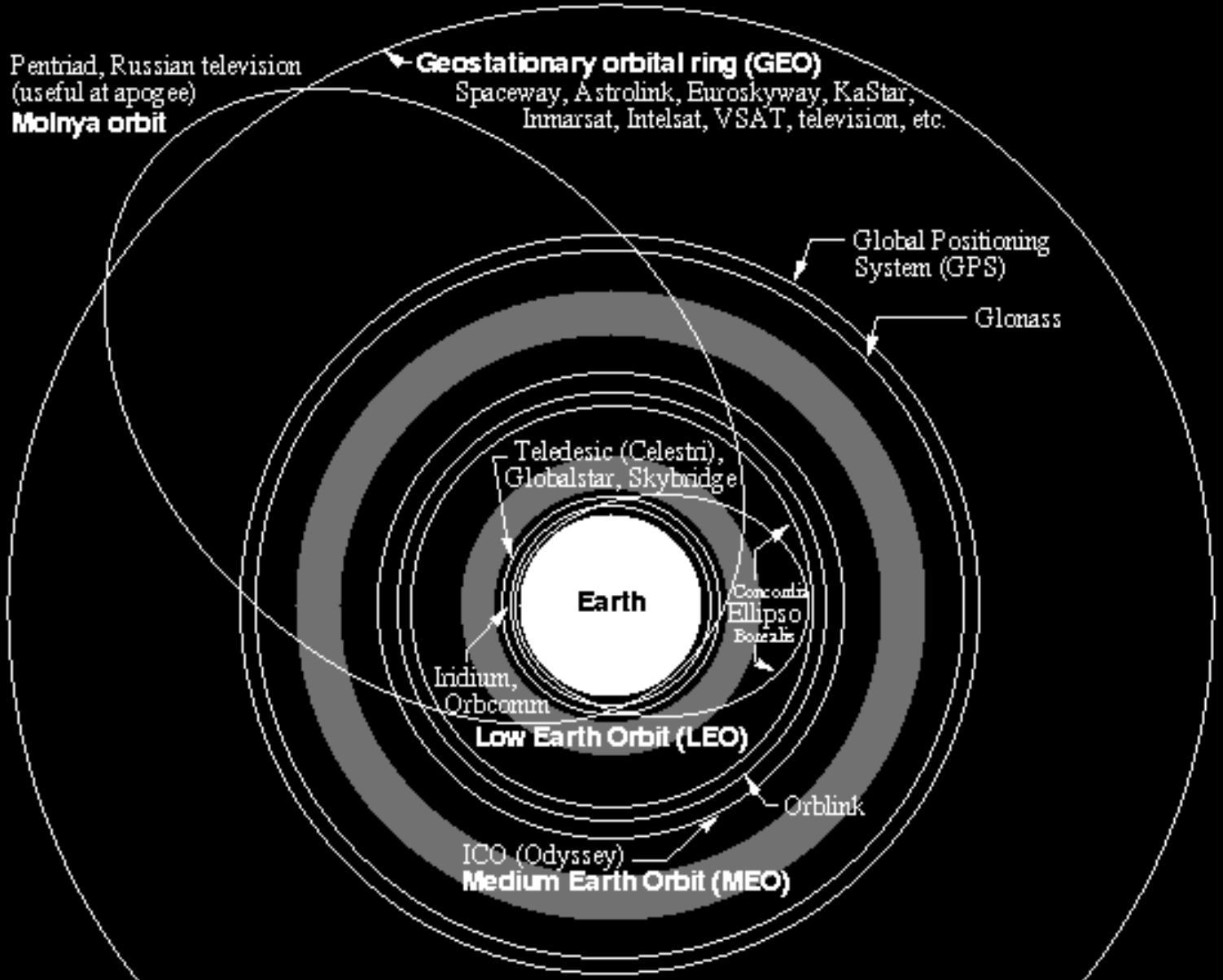
Prof. Ing. Miroslav Kasal, CSc.
Ústav radioelektroniky FEKT VUT v Brně
kasal@vut.cz
http://www.urel.feec.vutbr.cz/esl/




RADIO LINKS
STATION 3
STATION 1
ORBIT OF EARTH
CONE OF BEAM
AND BROADCAST SERVICES
STATION 2

Orbita	Výška [km]	Perioda	Zpoždění (90º/0º elev.) [ms]
GEO	35786	23 h 56 min	119,5 / 139,3
ICO	10355	5 h 59 min	34,5 / 51,7
LEO	700	1 h 39 min	2,3 / 10,3



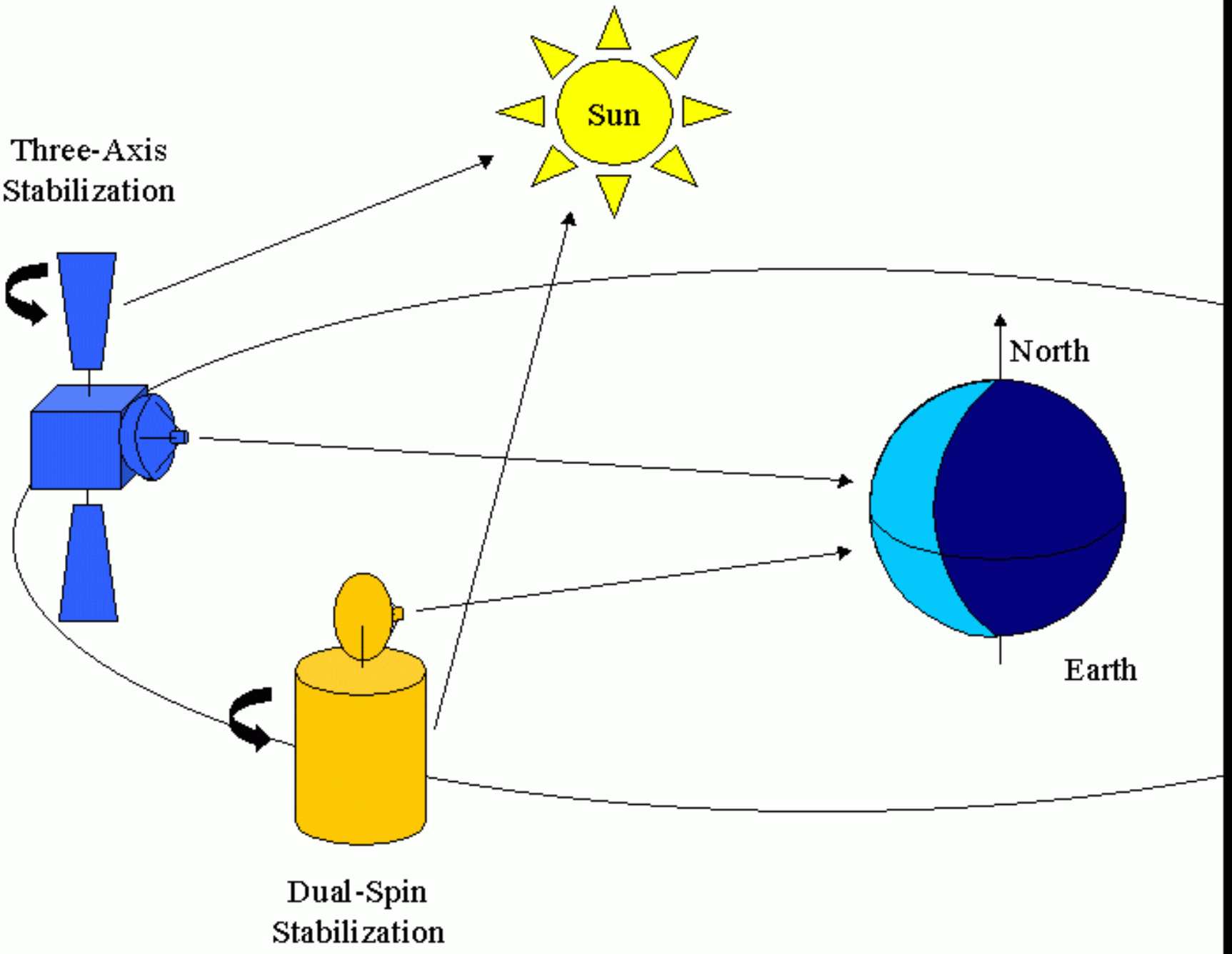


Orbital altitudes for satellite constellations

peak radiation bands of the Van Allen belts (high–energy protons)

orbits are not shown at actual inclination; this is a guide to altitude only

from Lloyd's satellite constellations http://www.ee.surrey.ac.uk/Personal/L.Wood/constellations/


Sun
Three-Axis
Stabilization
North
Earth
Dual-Spin
Stabilization

3 K

$P_N = k \,.\, T \,.\, B$

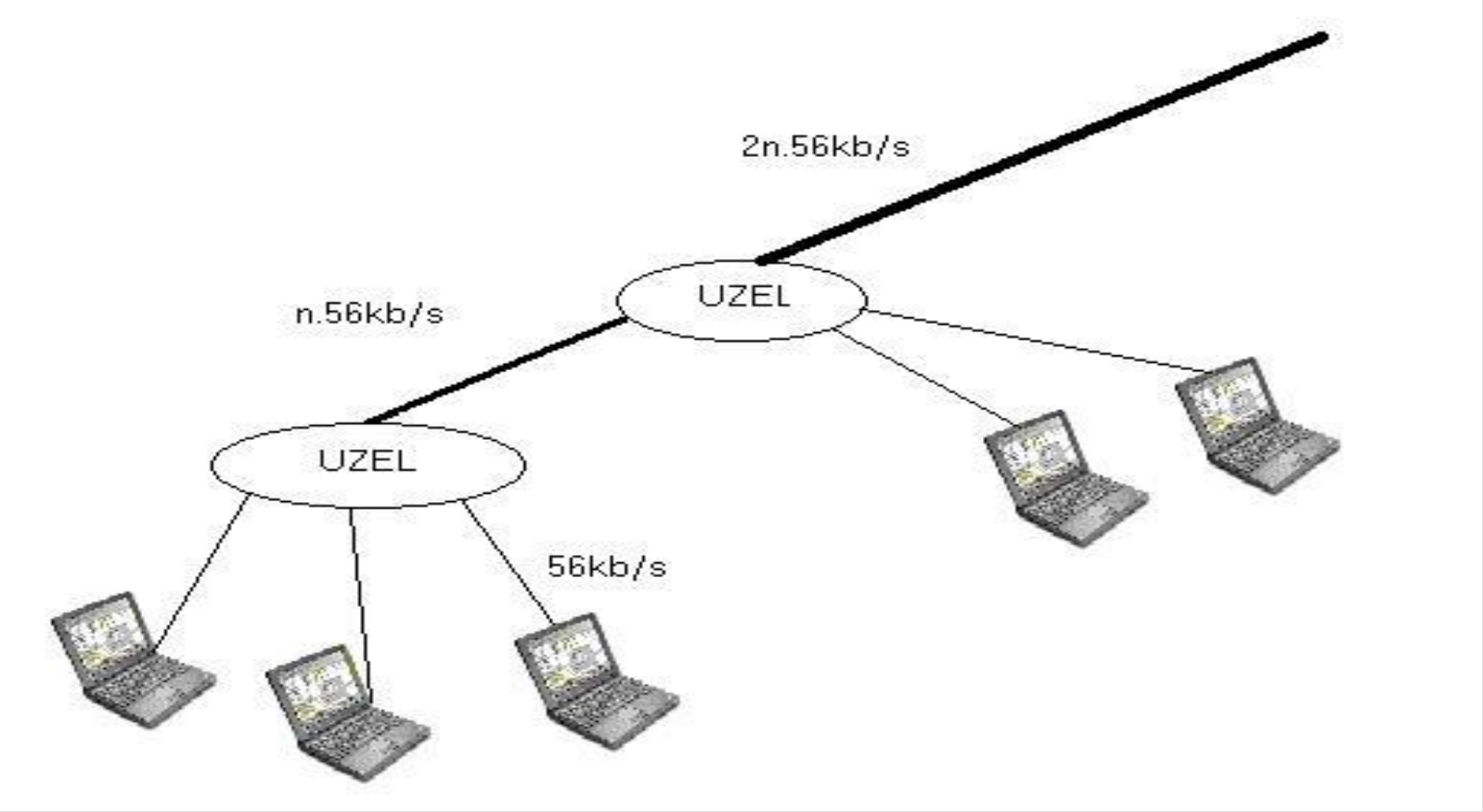
k – Boltzmannova konstanta 1,38E-23 [J/K]

T – Termodynamická teplota [K]

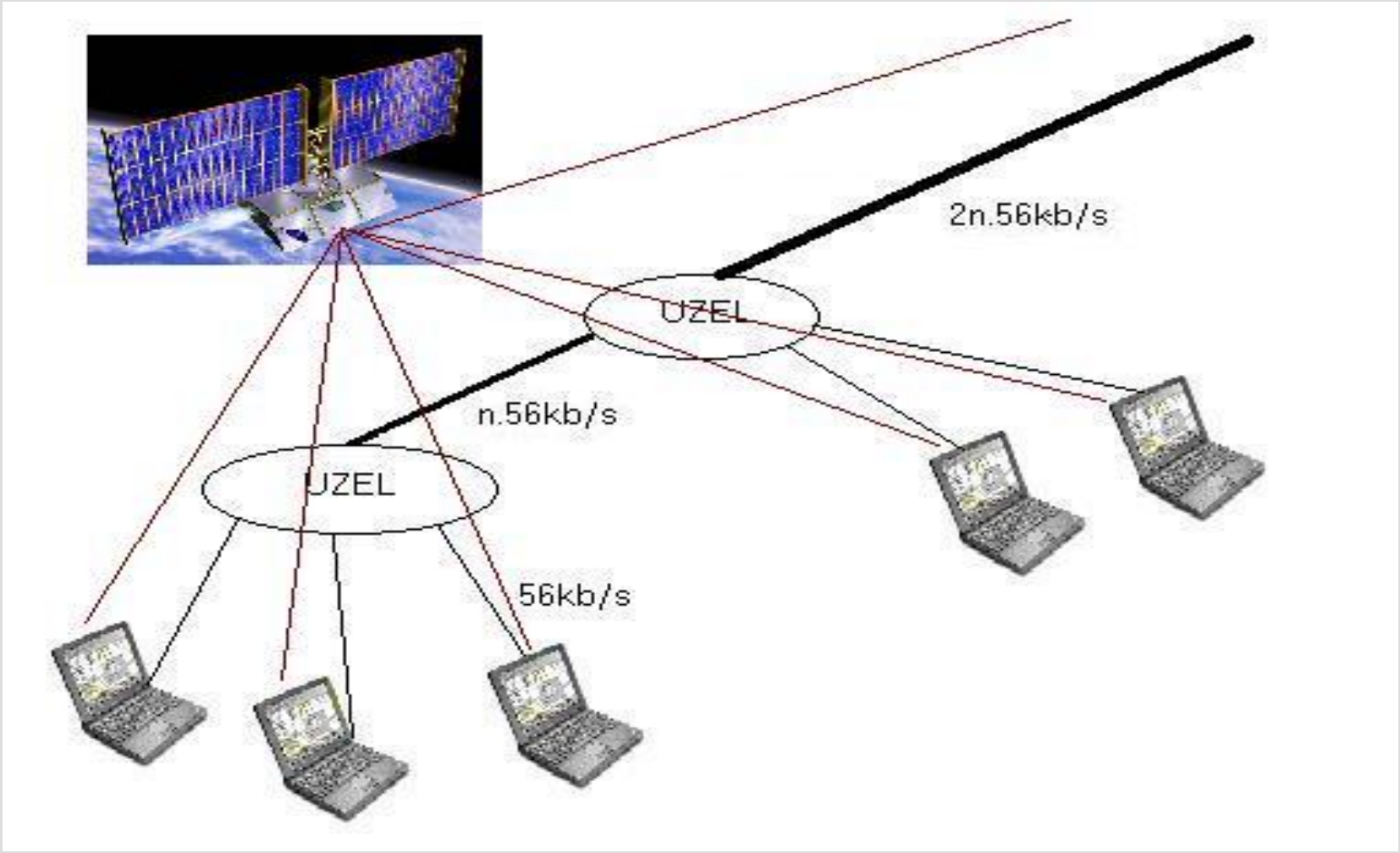
B – Šířka pásma [Hz]



- Přenos dat v komunikačních sítích je většinou velmi nesymetrický
- Rychlost přenosu je dána ‘nejpomalejším’ úsekem

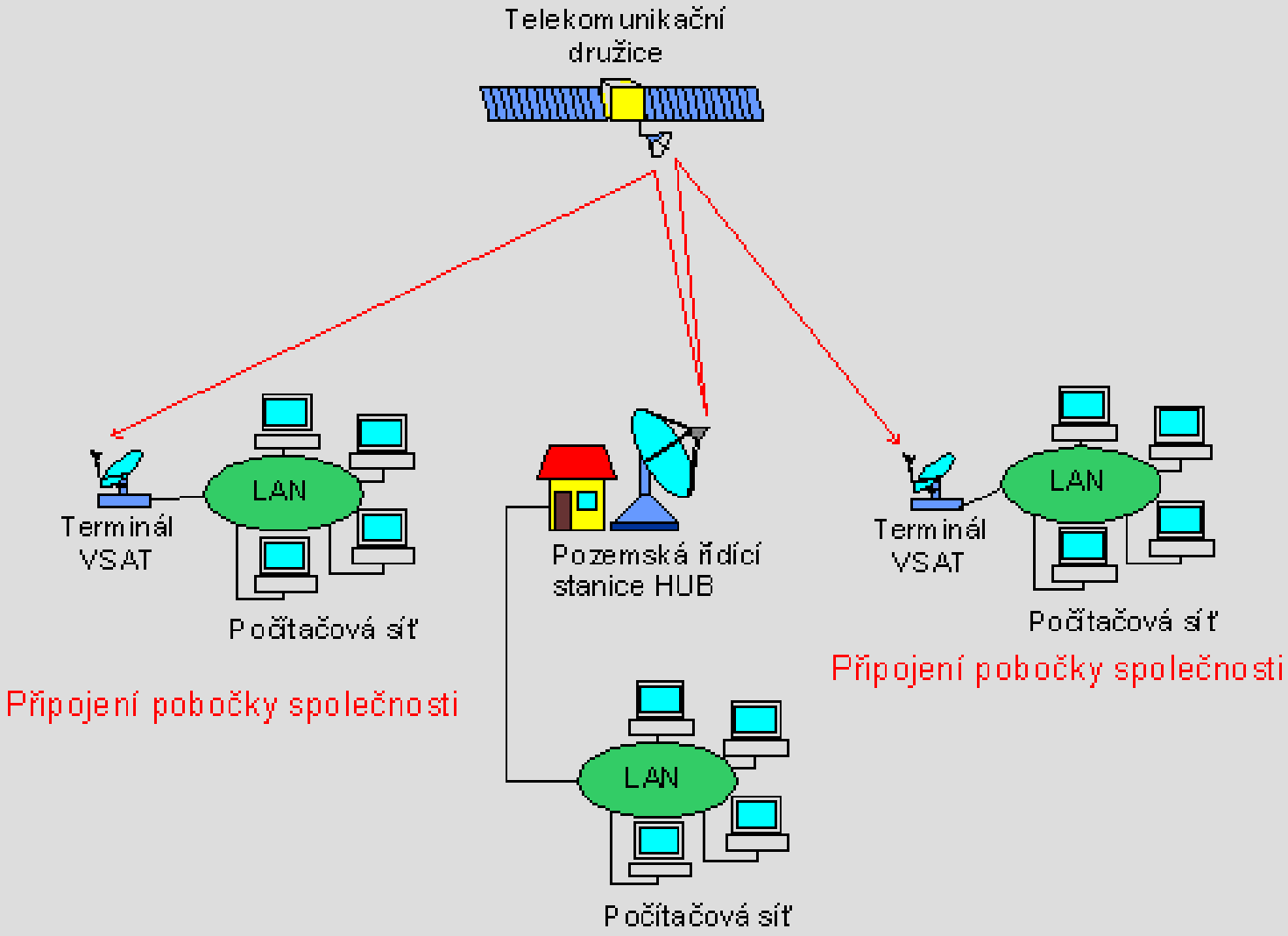


DVB (Digital Video Broadcasting)



VSAT (Very Small Aperture Terminals)

Družicový komunikační systém s pozemskou řídící stanicí HUB

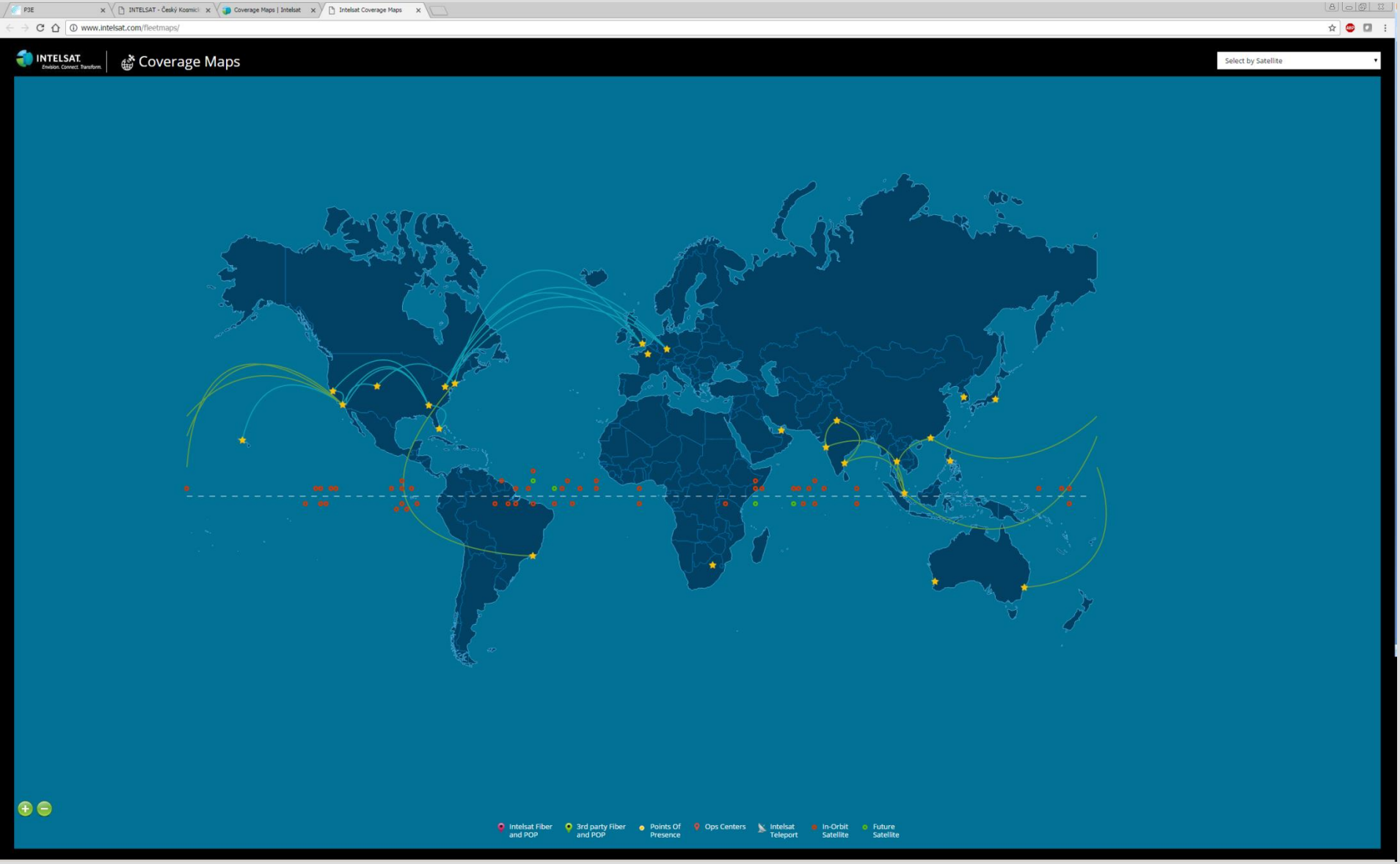


DRUŽICOVÁ KOMUNIKACE
Pevné služby





INTELSAT


P3E
INTELSAT - Český Kosmick
Coverage Maps | Intelsat
Intelsat Coverage Maps
www.intelsat.com/fleetmaps/
INTELSAT
Envision. Connect. Transform.
Coverage Maps
Select by Satellite
Intelsat Fiber and POP
3rd party Fiber and POP
Points Of Presence
Ops Centers
Intelsat Teleport
In-Orbit Satellite
Future Satellite

EUTELSAT



—

Seven satellites to launch by 2017

SATELITNÍ KOMUNIKACE – TELEFONY

- devadesátá léta: **INMARSAT** s analogovými družicemi druhé generace a terminály s průměrem antény 1m, mobilní analogové telefony (NMT), začátek Internetu - elektronická pošta…

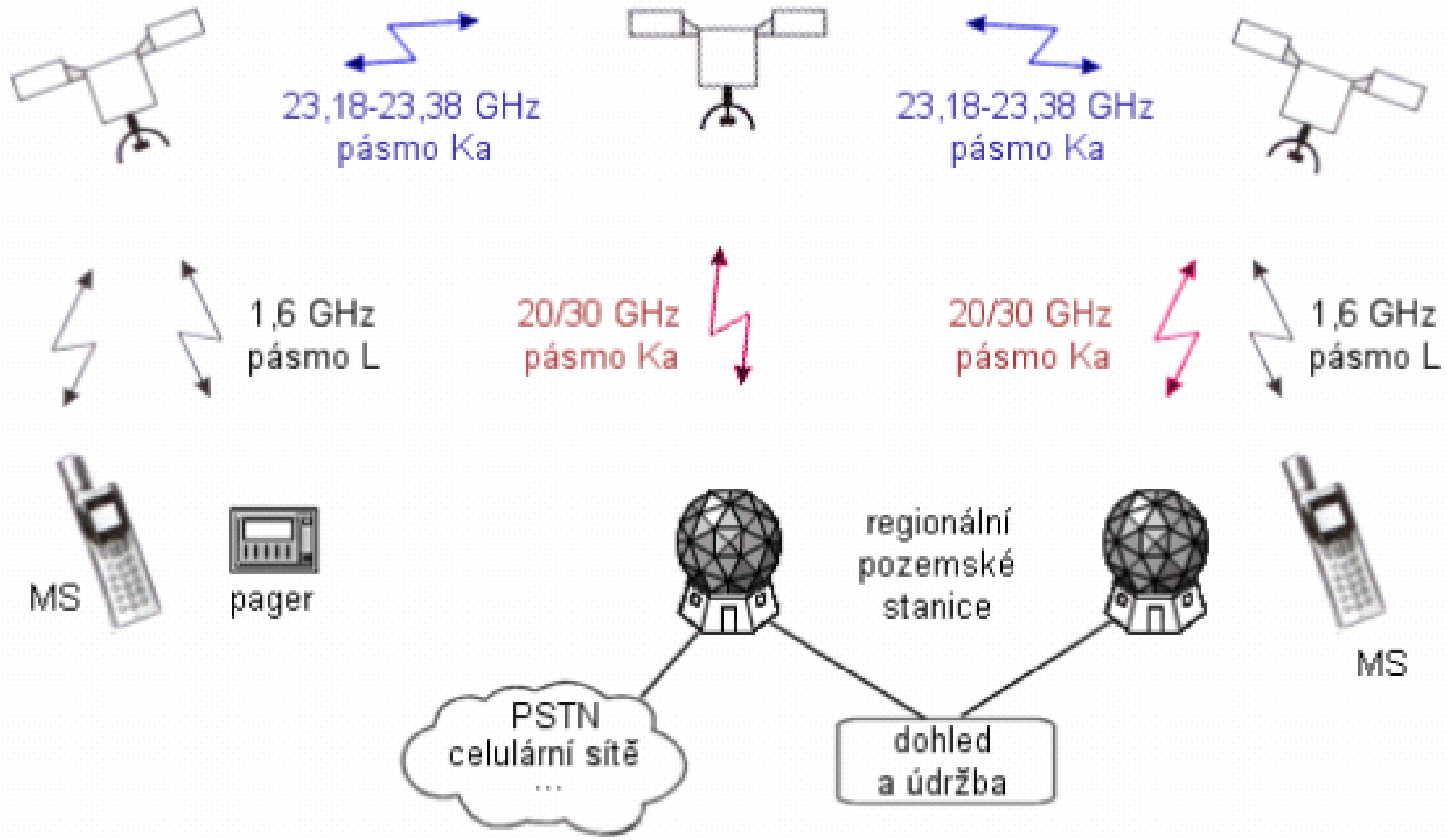
- **IRIDIUM**, **GLOBALSTAR** systémy s kosmickým segmentem LEO a terminály: malý “handheld” - byly vyvíjeny současně s GSM…
  při srovnání s GEO eliminace časového zpoždění a bilance +26 dB pro jeden směr…

IRIDIUM

vyvíjen firmou MOTOROLA a přidruženými, převážně mimoevropskými partnery. Kosmický segment systému tvoří 66 operačních a 6 záložních družic na nízkých oběžných drahách - LEO. Název projektu vznikl v souvislosti s atomovým číslem prvku Iridia - 77, neboť právě takový byl původně předpokládaný počet družic. K základní charakteristice systému patří vzájemné propojení družic.

- **Družice -** mají hmotnost 689 kg. Byly vyvinuty a sériově vyráběny divizí SATCOM MOTOROLA. Cenu jedné družice se podařilo snížit pod 50 mil. US $. Družice jsou rozmístěny na kruhových polárních drahách s inklinací 86º a výškou 780 km, v šesti orbitálních rovinách. V každé rovině je 11 operačních satelitů a jeden záložní. Spojení mezi družicemi je v pásmu Ka (23,18 - 23,38 GHz), stejně jako spojení mezi družicí a pozemními pevnými stanicemi (downlink 19,4 - 19,6 GHz, uplink 29,1 - 29,3 GHz). Komunikace s mobilními stanicemi je v pásmu L (1616,0 - 1626,5 MHz). Vícenásobný přístup je zajištěn kombinací FD/TDMA.

IRIDIUM

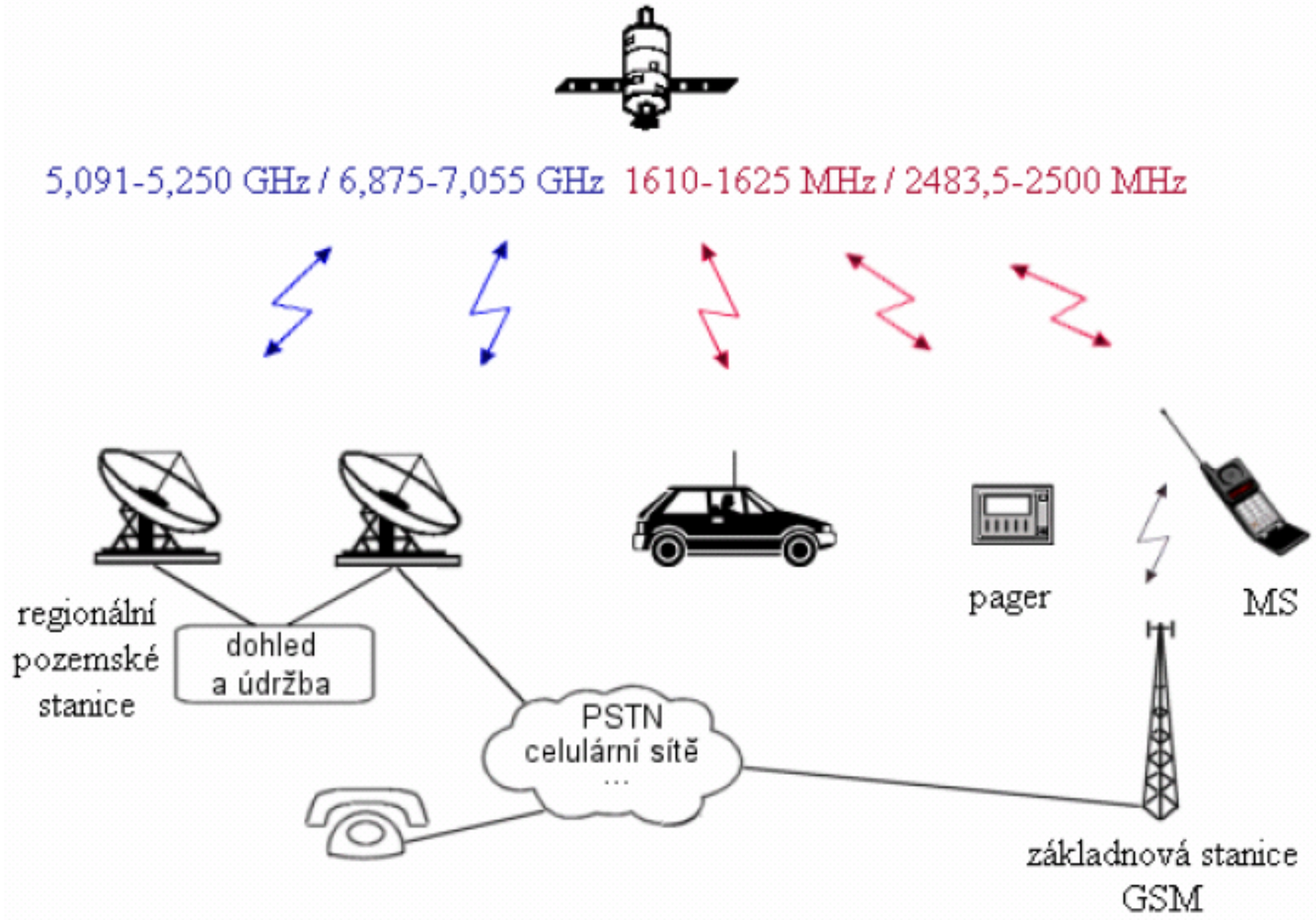

23,18-23,38 GHz
pásmo Ka
23,18-23,38 GHz
pásmo Ka
1,6 GHz
pásmo L
20/30 GHz
pásmo Ka
20/30 GHz
pásmo Ka
1,6 GHz
pásmo L
MS
pager
regionální
pozemské
stanice
MS
PSTN
celulární sítě
...
dohled
a údržba

GLOBALSTAR

Je konkurenční systém s velmi podobnými cíli, v jehož čele stála firma QUALCOMM s řadou evropských partnerů. V kosmickém segmentu pracuje celkem 56 družic, z toho 48 operačních a 8 záložních (v září 1998 konsorcium Globalstar utrpělo značnou ztrátu, když 12 družic ztratilo při havárii rakety Zenit 2). Základním rozdílem je absence vzájemného propojení družic. Vícenásobný přístup je zajišťován technikou FD/CDMA.

- **Družice -** mají hmotnost 689 kg. Byly vyvinuty a sériově vyráběny divizí SATCOM MOTOROLA. Cenu jedné družice se podařilo snížit pod 50 mil. US $. Družice jsou rozmístěny na kruhových polárních drahách s inklinací 86º a výškou 780 km, v šesti orbitálních rovinách. V každé rovině je 11 operačních satelitů a jeden záložní. Spojení mezi družicemi je v pásmu Ka (23,18 - 23,38 GHz), stejně jako spojení mezi družicí a pozemními pevnými stanicemi (downlink 19,4 - 19,6 GHz, uplink 29,1 - 29,3 GHz). Komunikace s mobilními stanicemi je v pásmu L (1616,0 - 1626,5 MHz). Vícenásobný přístup je zajištěn kombinací FD/TDMA.

GLOBALSTAR


5,091-5,250 GHz / 6,875-7,055 GHz
1610-1625 MHz / 2483,5-2500 MHz
regionální pozemské stanice
dohled a údržba
PSTN celulární sítě ...
pager
MS
základnová stanice GSM

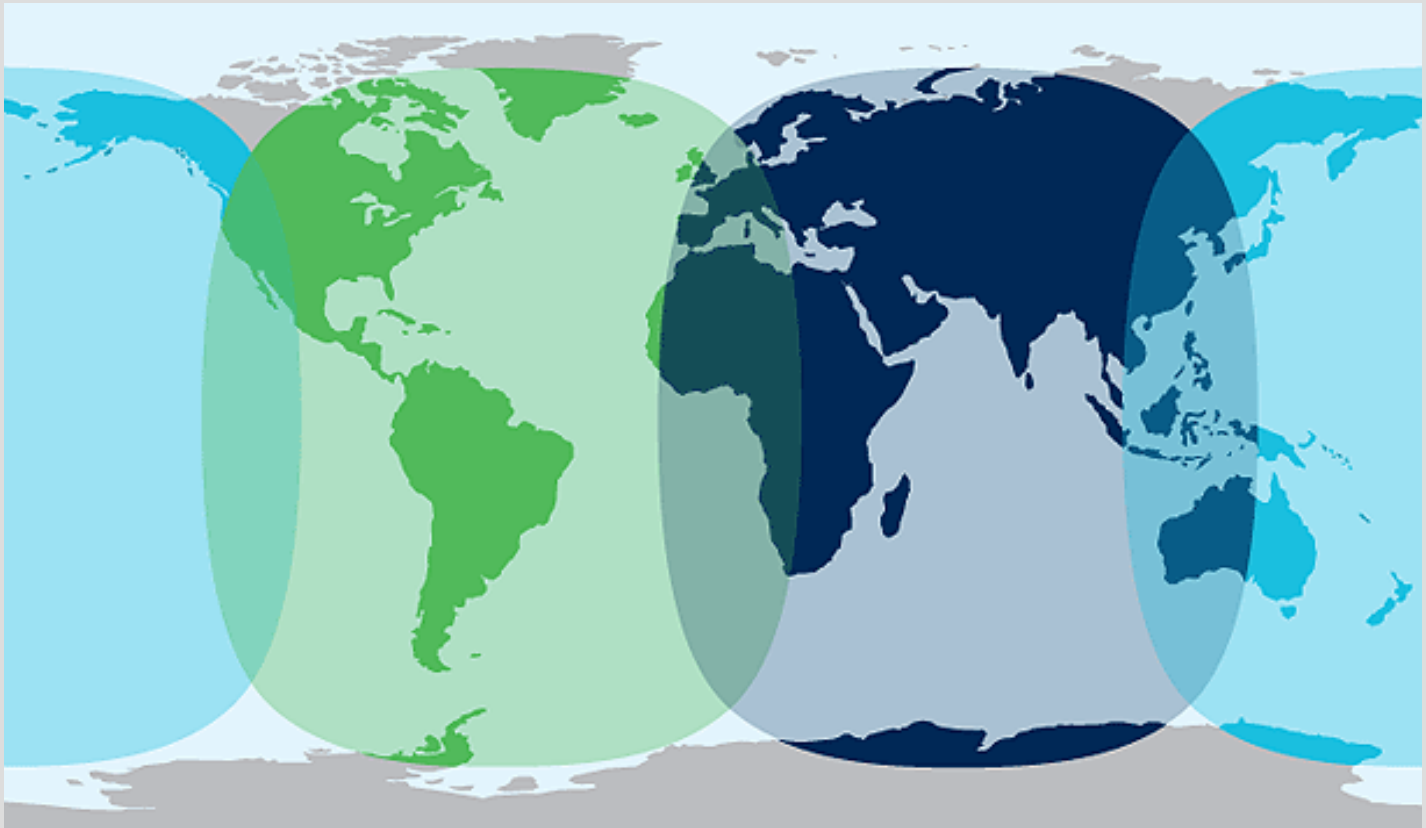
IRIDIUM i **GLOBALSTAR** měly velké ekonomické problémy…..**TELEDESIC** zastaven……

- Sofistikované digitální zpracování signálů na palubě družice – adaptabilní anténní svazky a přidělování šíře pásma podle požadavku spolu s kosmickou technikou - relativně velmi rozměrné antény ale také odpovídající přesnost a stabilizace polohy, životnost družice…
  THURAYA a **INMARSAT**

INMARSAT 1,5/1,6 GHz a 4/6 GHz

je v provozu již od 1982 – původně pro plavidla nyní pro pozemní, námořní i letecké účastníky

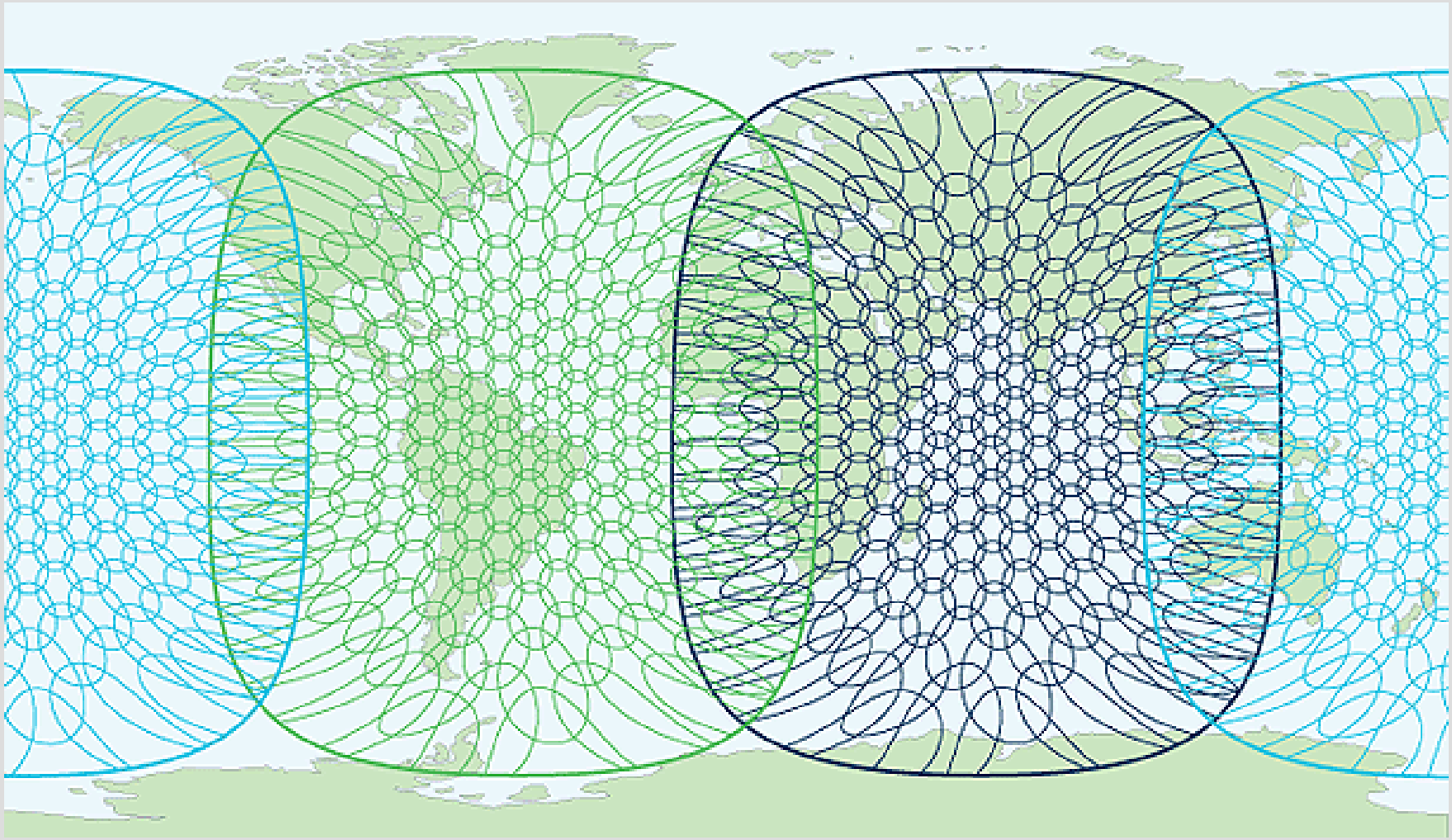
- **KOSMICKÝ SEGMENT** - čtyři družice GEO I-3



Pokrytí SwiftBroadband

Spot Beams – adaptivní anténní svazky

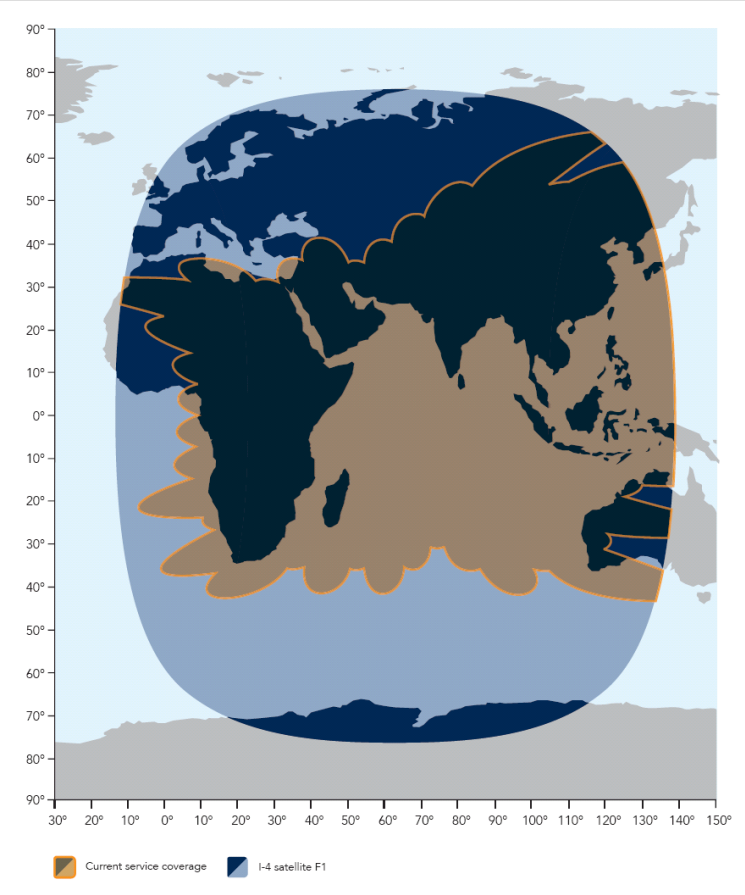
Bandwidth on Demand – šířka pásma a výkon podle požadavku



MODERNÍ SYSTÉMY INMARSAT s družicemi I-4 pro mobilní služby – (Spot beam services)

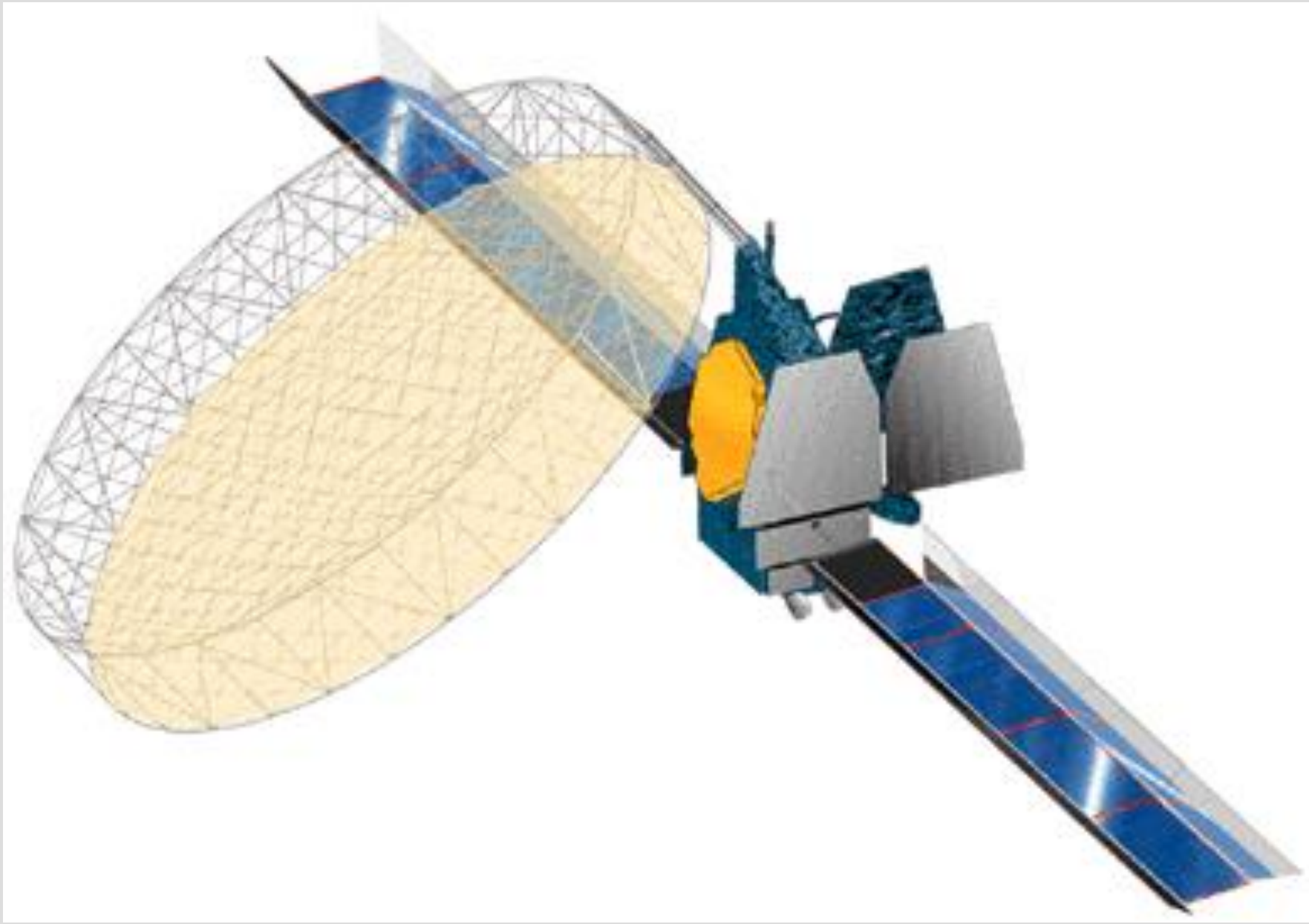
Pozemní	Námořní	Letecké
BGAN (Broadband Global Area Network) regionální **RBGAN**	**Fleet 77,55,33**	**SwiftBroadband**
IsatPhone	**FleetBroadband**	**Aero classic**
LandPhone	**FleetPhone**	

- **IsatPhone a LandPhone** jsou nové systémy INMARSATu pro hlasové služby v oblastech kde nejsou jiné sitě, především v Asii. Pokrytí zajišťuje satelit F1 (I-4). Zatímco datový přenos v režimu GSM je standardní 9,6 kbps při družicovém je rychlost omezena na 2,4 kbps.





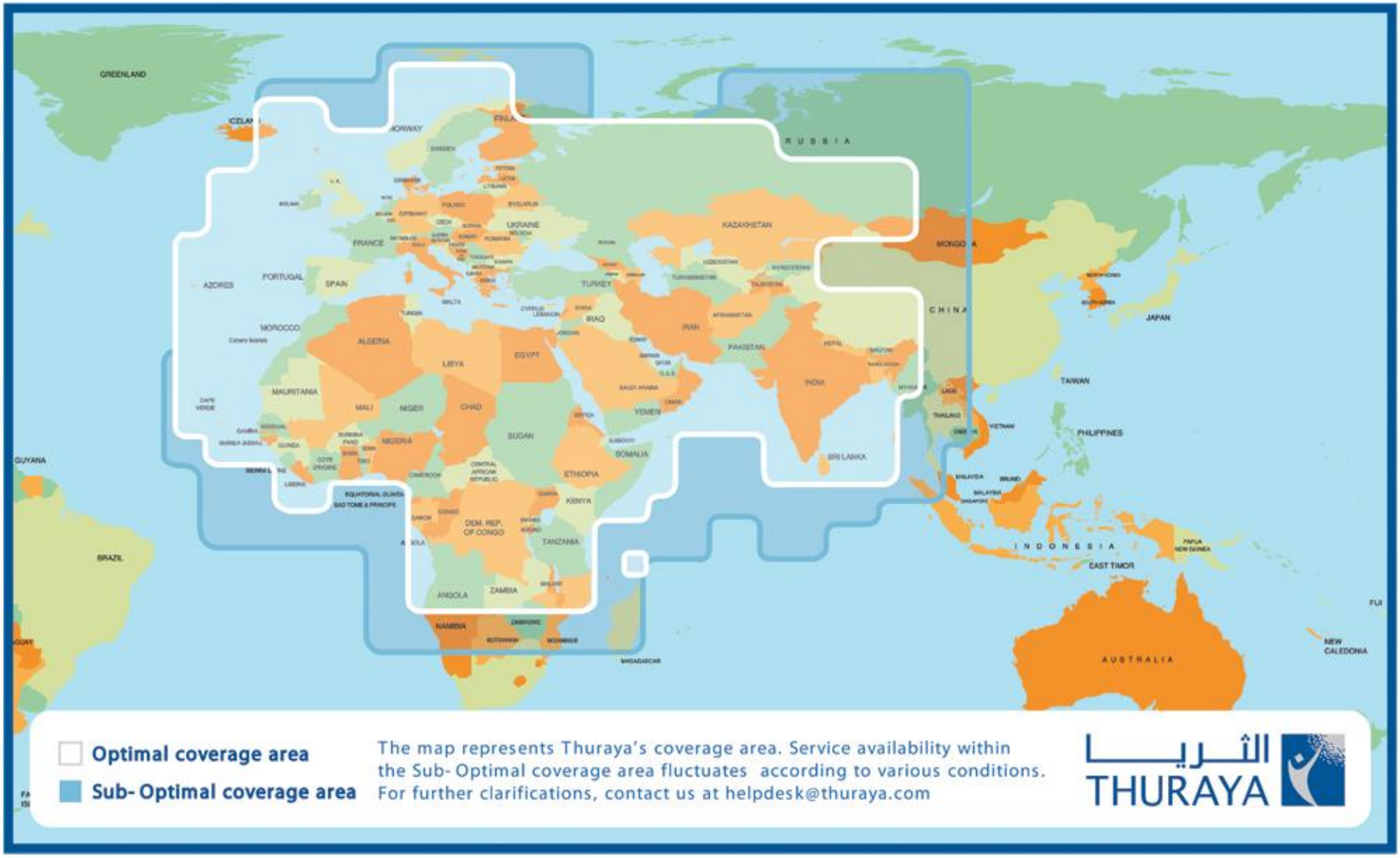
THURAYA



THURAYA

Tento systém, provozovaný ve Spojených Arabských Emirátech, dokazuje, že i pro uživatelský terminál typu hand-held může být kosmický segment tvořen družicemi na geostacionární dráze. Je to umožněno extrémně velkou aperturou antény pro pásmo L a vyřešení z toho vyplývajících souvislostí, především zvládnutí technologií Spot Beams a Bandwidth on Demand.

- **Kosmický segment** – se skládá ze dvou družic na geosynchronní dráze (s inklinací 6,3°), umístěných na 44° E a 28,5° E. Družice se startovní hmotností 5 250 kg a životností 12 let, nesou anténu s průměrem apertury 12,25 m pro pásmo L, umožňující formovat až 250 úzkých svazků pro celkem 13 750 duplexních uživatelských kanálů. Jednotlivé kanály FDMA s osmi násobným multiplexem mají šířku 27,7 kHz a při modulaci π/4 QPSK je přenosová rychlost 46,8 kbps. Spojení jsou typu mobilní stanice – gateway, nebo mobilní – mobilní stanice.



Optimal coverage area

Sub- Optimal coverage area

The map represents Thuraya's coverage area. Service availability within the Sub- Optimal coverage area fluctuates according to various conditions. For further clarifications, contact us at helpdesk@thuraya.com

الثريا
THURAYA

STARLINK – Projekt SPACE X Elon Musk

Cílem je rychlý Internet – 50-100 Mb/s s nízkou latencí

- **1584 satelitů** ve výšce 550 km, rozdělených po 22 satelitech do 72 orbitálních rovin s inklinací 53° (tyto družice jsou vynášeny jako první a představují první fázi projektu)

- **2825 satelitů** ve výšce 1110–1325 km, rozdělených do různých rovin s odlišnými inklinacemi

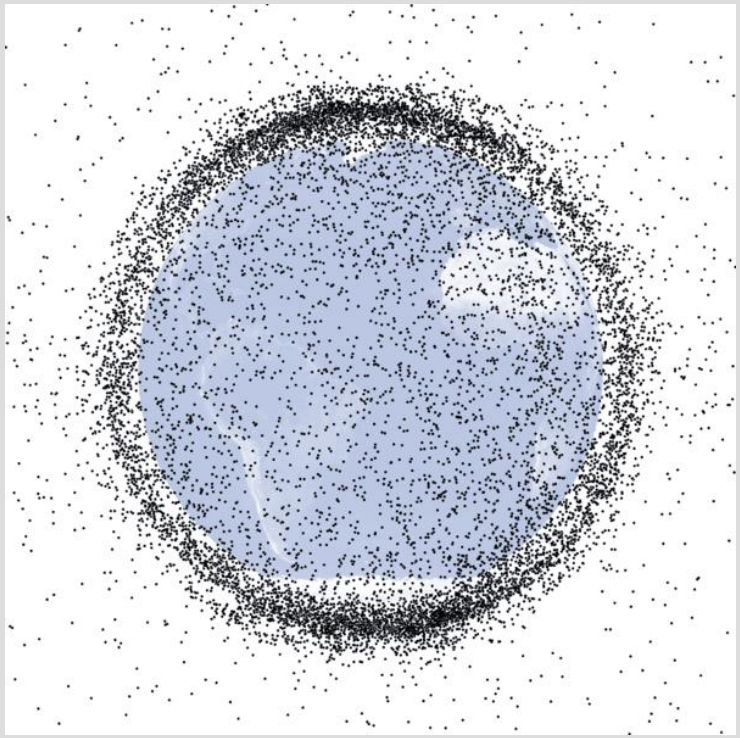
- **7518 satelitů** ve výšce kolem 320 km (ty budou nejspíš vyneseny jako poslední)

Celkem 11924 družic

Frekvenční pásma

- Přenos ze satelitu k uživatelským terminálům: 10,7 – 12,7 GHz + 37,5 – 42,5 GHz
- Přenos ze satelitu k pozemním bránám: 17,8 – 18,6 GHz + 18,8 – 19,3 GHz + 37,5 – 42,5 GHz
- Přenos z terminálů k satelitům: 14,0 – 14,5 GHz + 47,2 – 50,2 GHz + 50,4 – 51,4 GHz
- Přenos z bran k satelitům: 27,5 – 29,1 GHz + 29,5 – 30,0 GHz + 47,2 – 50,2 GHz + 50,4 – 51,4 GHz
- Sledování, telemetrie a příkazy směrem dolů: 12,15 – 12,25 GHz + 18,55 – 18,60 GHz + 37,5 – 37,75 GHz
- Sledování, telemetrie a příkazy směrem nahoru: 13,85 – 14,00 GHz + 47,2 – 47,45 GHz







V České republice je přístupný od roku 2022

Měsíční paušál – 2579.- Kč

Cena terminálu – 12999.- Kč + poštovné

Družicové navigační systémy

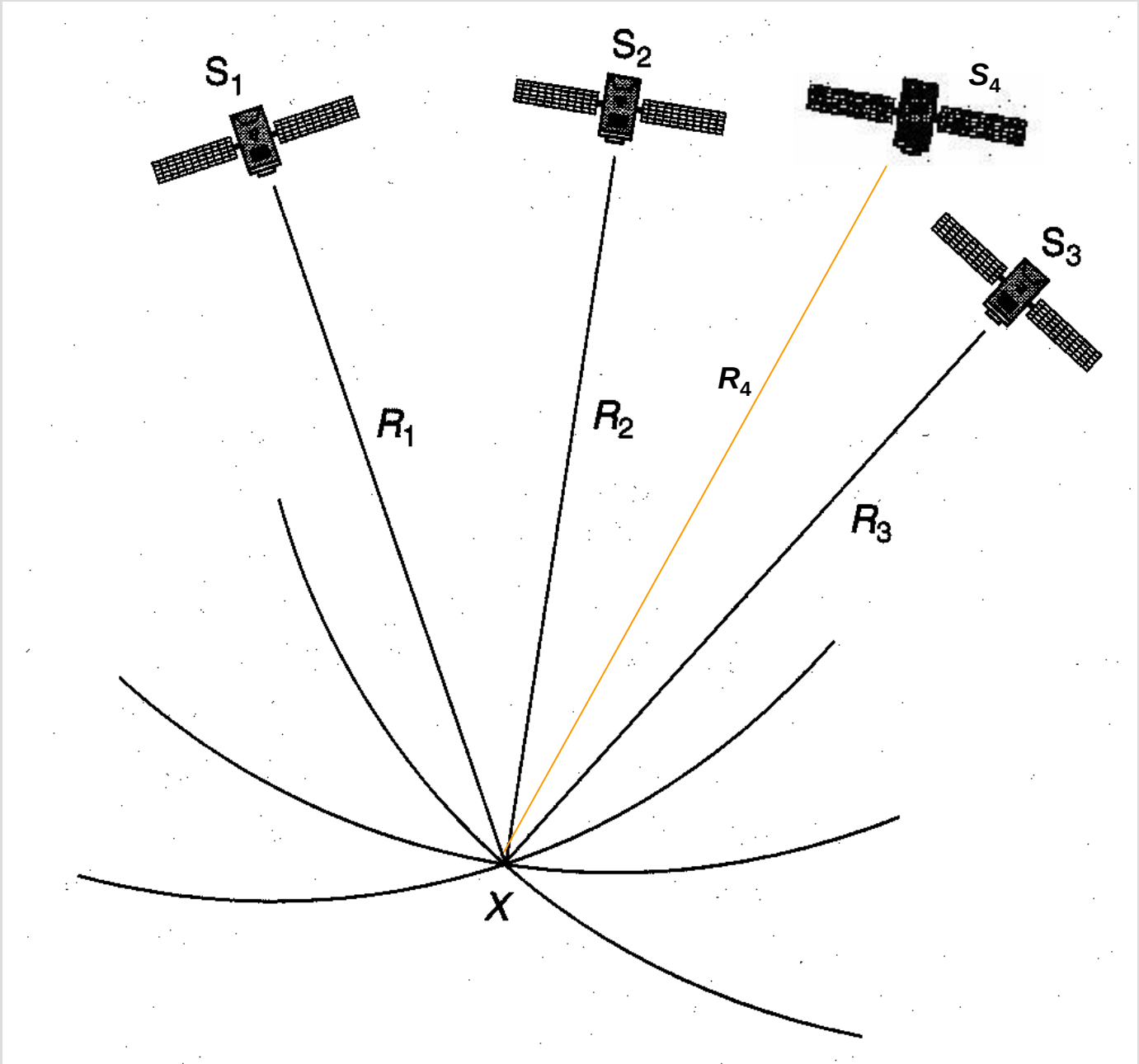
GPS (Global Positioning Systém), způsobily v devadesátých letech revoluci v navigaci a lokalizaci. Dnes jsou jedním z nejčastěji využívaným družicovým systémem. Nejznámější je americký systém GPS-NAVSTAR

Rusové mají podobný systém GLONASS a evropské státy systém GALILEO.

GPS NAVSTAR

Kosmický segment tvoří 24 družic na kruhových drahách MEO s nominální výškou 20 200 km a inklinací 55º. Doba oběhu je 11 hod 58 min (polovina hvězdného dne). Družice obíhají Zemi po čtyřech v šesti rovinách vzájemně posunutých o 60º zeměpisné délky. Tím je zajištěno, že téměř v každém okamžiku jsou v každém místě zemského povrchu v dosahu nejméně čtyři družice. Družice mají hmotnost 1877 kg a jsou konstruovány pro životnost 10 let.

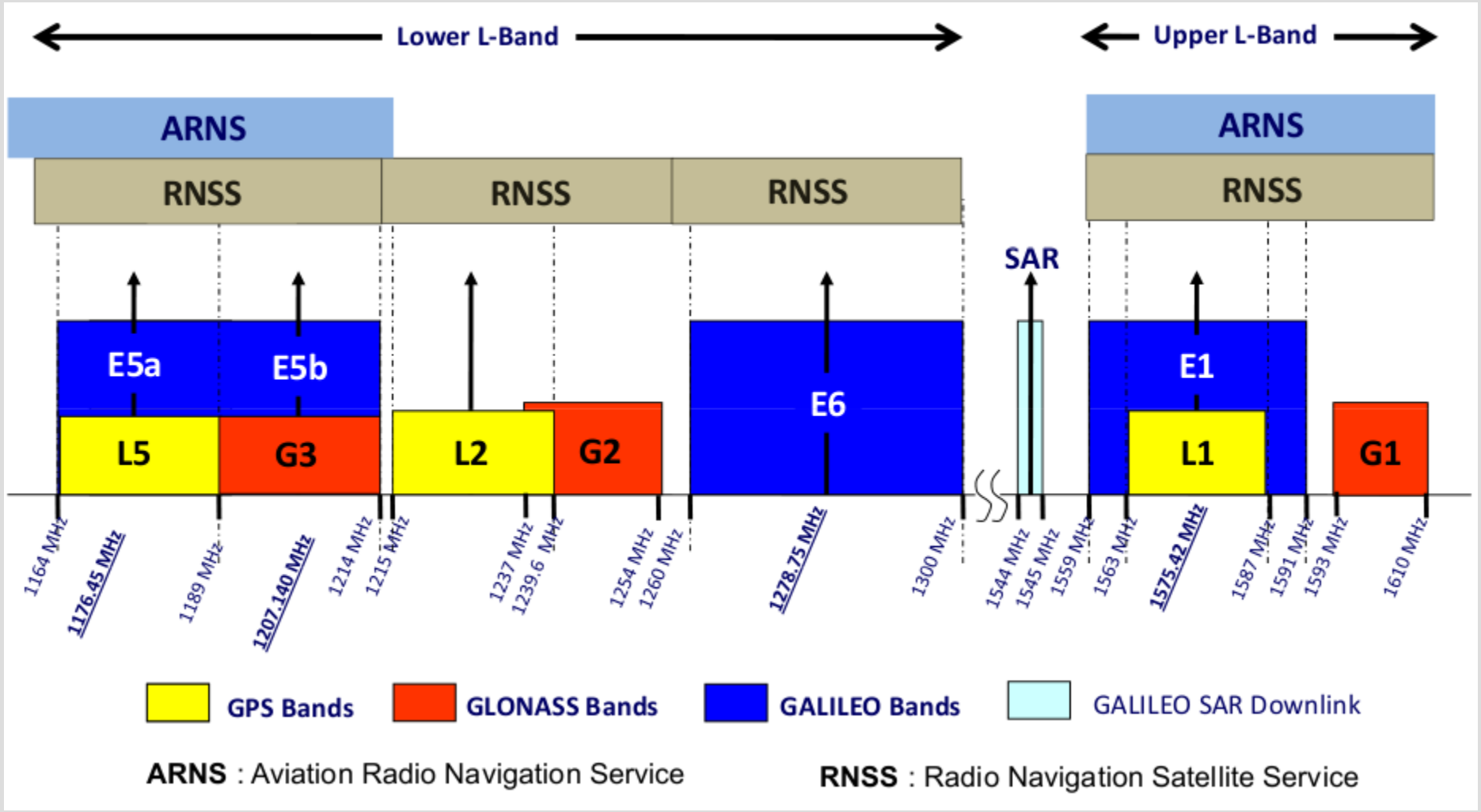
GPS je řízen střediskem MCS (Master Control Station - U.S. Air Force) ze základny Falcon v Coloradu Springs. Spolu s dalšími čtyřmi monitorovacími stanicemi, které jsou umístěny v Atlantickém, Indickém a Tichém oceánu, jsou měřeny orbitální parametry a počítány efemeridy jednotlivých družic, stanoveny chyby atomových hodin a další parametry. Měření jsou prováděna po 1,5 s a jsou použita k aktualizaci palubních dat a následně k vyslání navigačních zpráv k uživatelům.


S1
S2
S4
S3
R1
R2
R4
R3
X

Vzdálenost mezi přijímačem a vysílačem lze určit měřením času potřebného pro přenos impulsního signálu mezi nimi. Vzdálenost je vypočtena z rychlosti šíření elektromagnetické vlny ve volném prostoru ***c*** = 299 792 458 m.s-1. Elektronické měření časového intervalu patří mezi nejpřesnější měření fyzikální veličiny. S použitím atomových hodin lze potom vzdálenost 20 tisíc kilometrů změřit s přesností 1 m, přičemž přesnost měření časového intervalu musí být lepší než 3 ns.

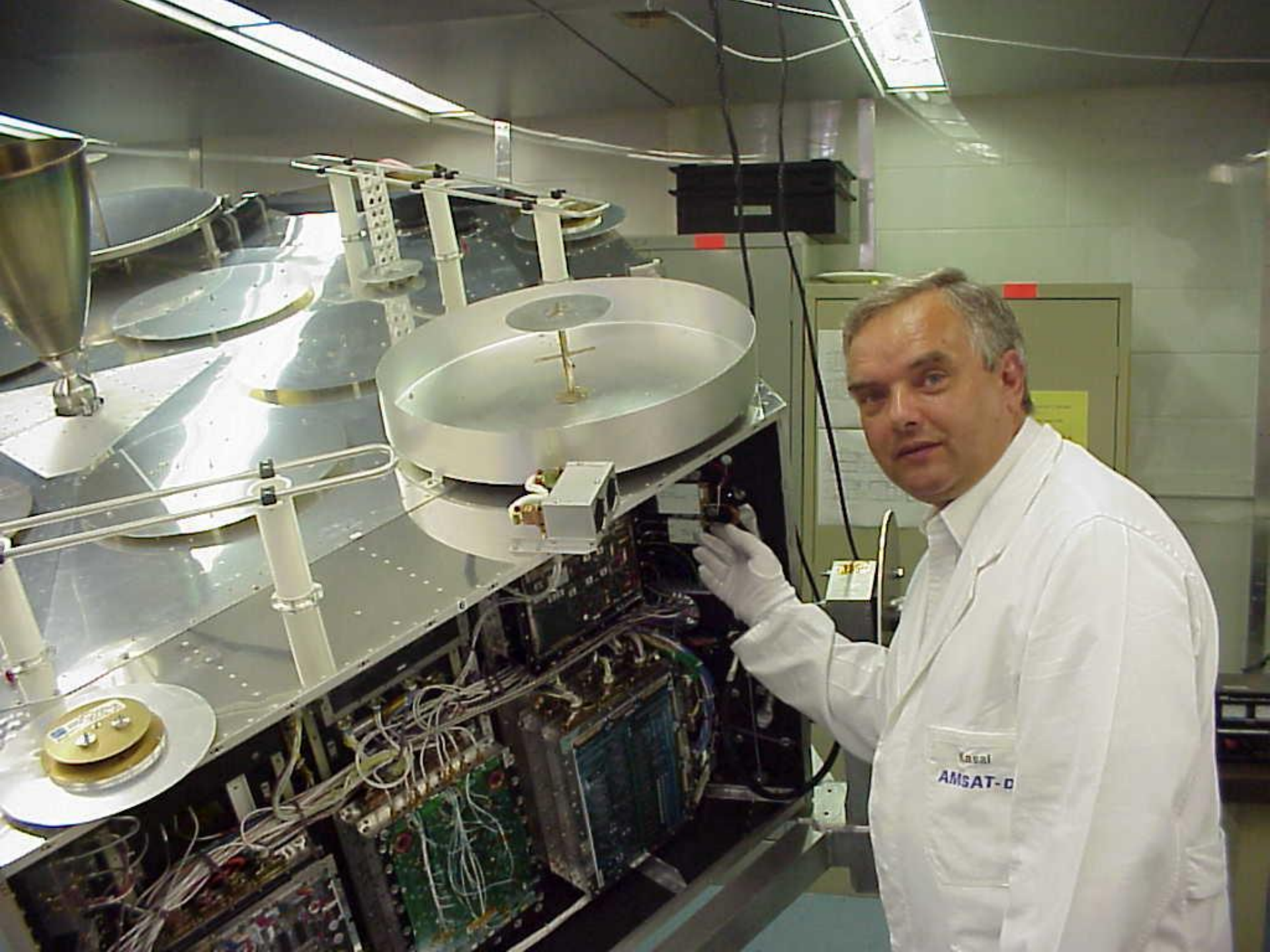
EGNOS

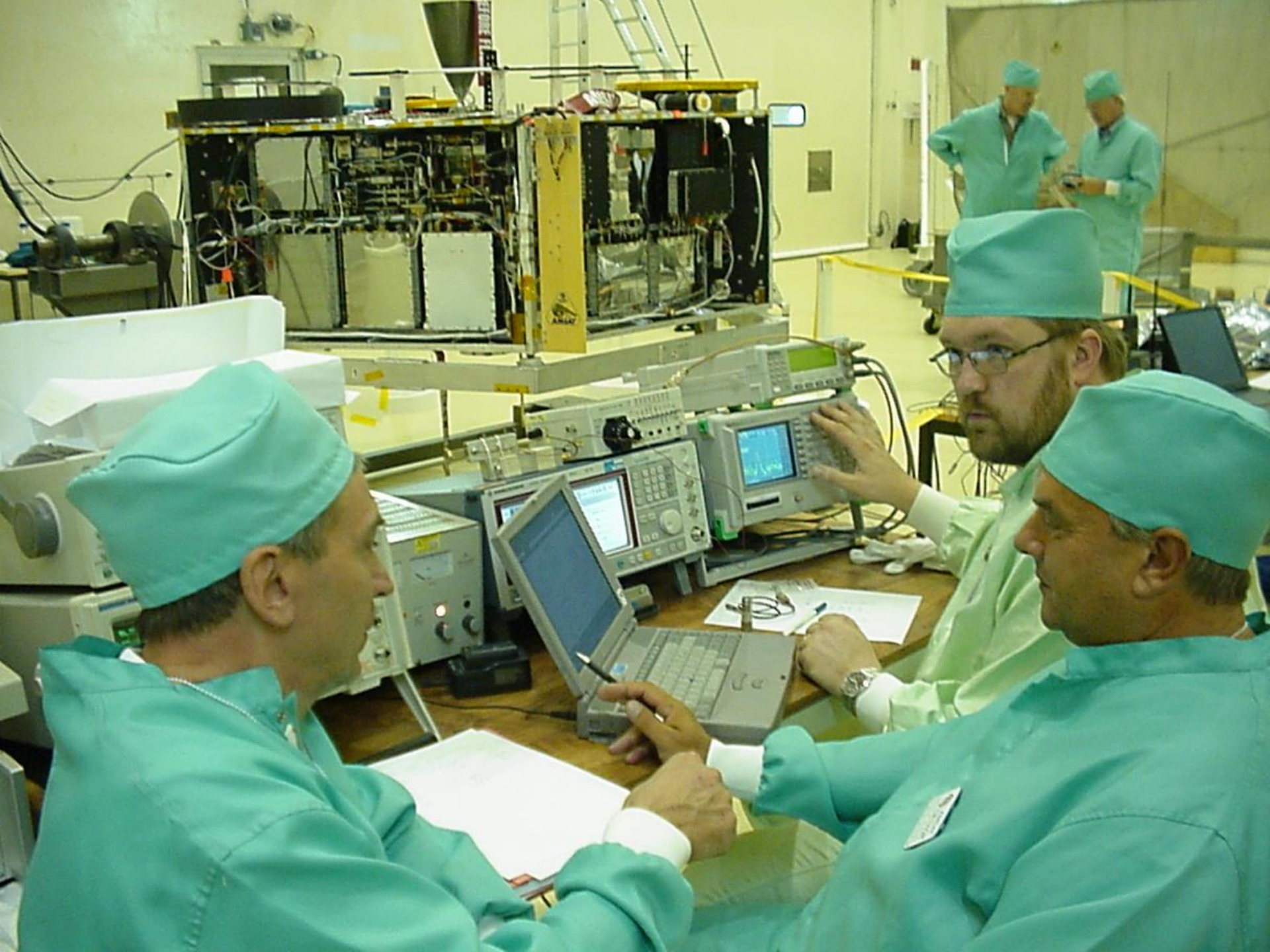
GALILEO Glonass BeiDou

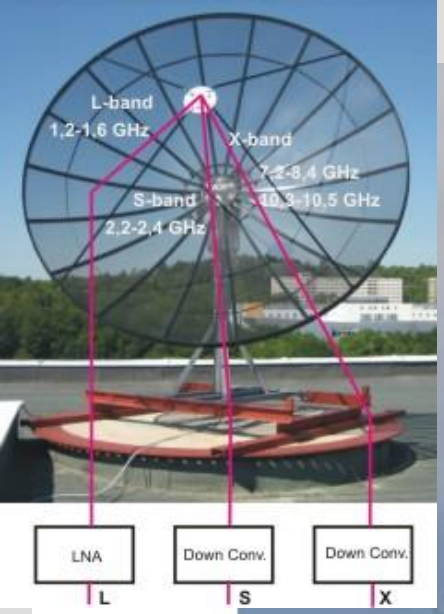


Laboratoř experimentálních družic




AMSAT-D







U-band

L-band

V-band

S-band

2400MHz

435MHz

145MHz

1269MHz

LNA
RF VOX

U

PA
40W

L

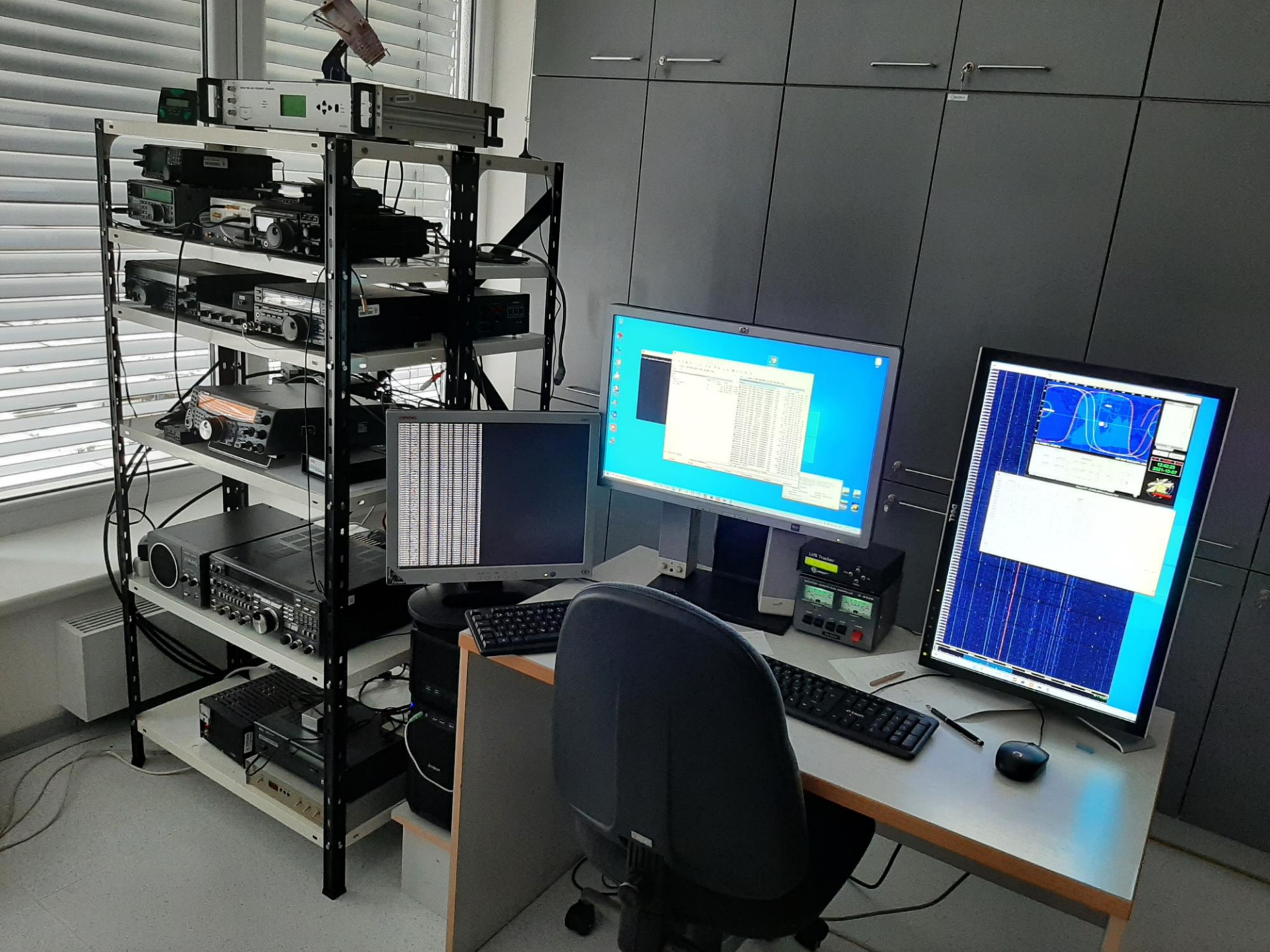
Rotors
Control

LNA
RF VOX

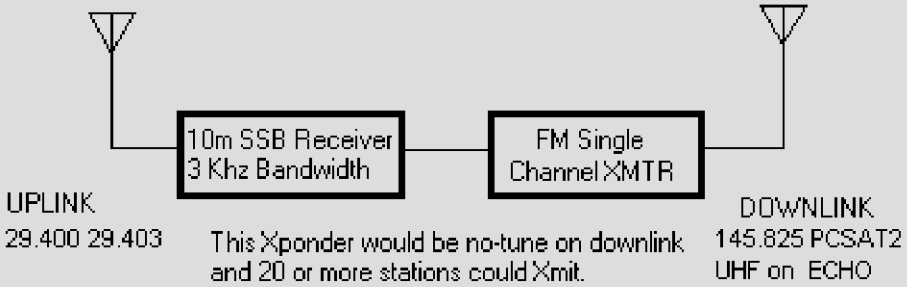
V

Down Conv
220 MHz

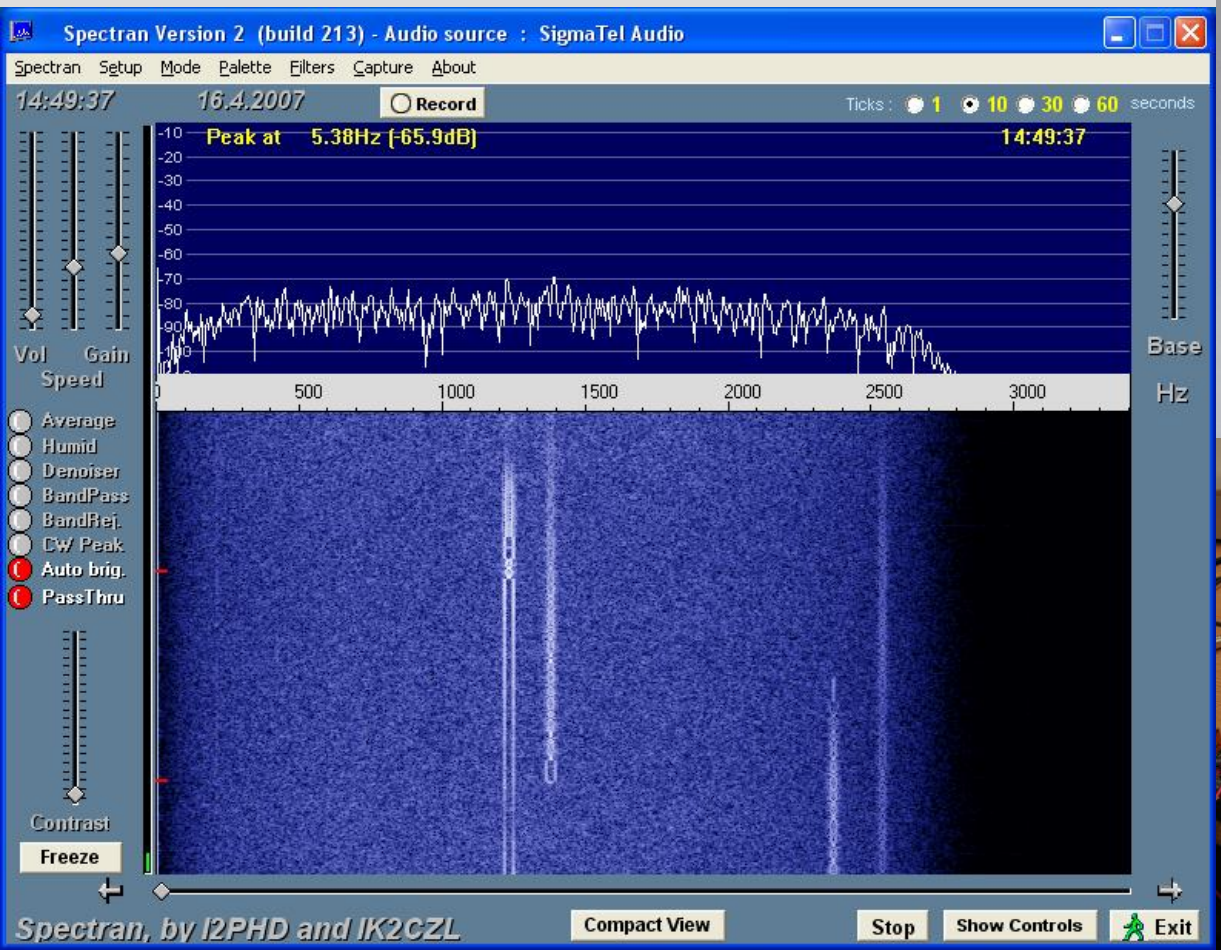
S

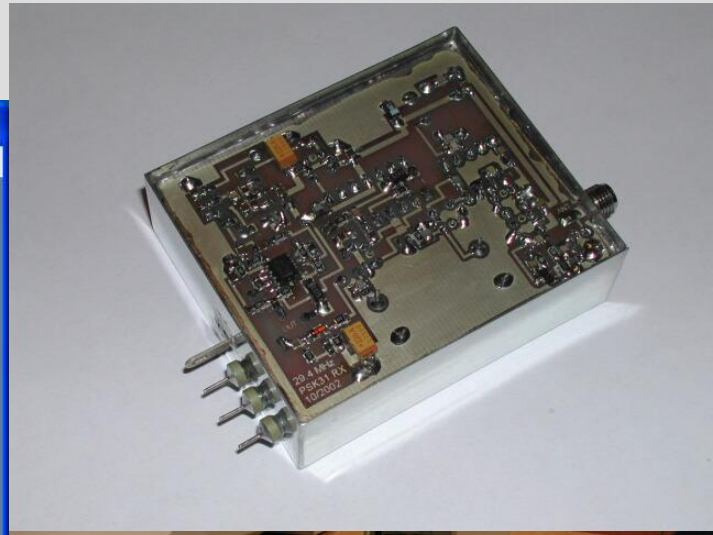


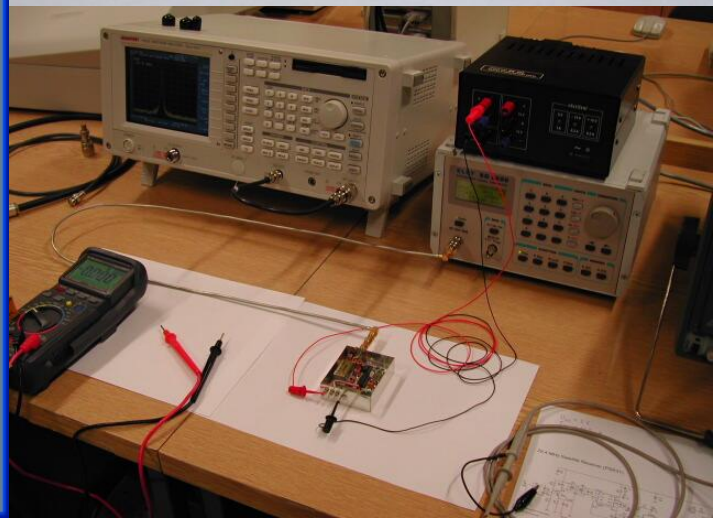
PSK-31 SSB=>FM Transponder



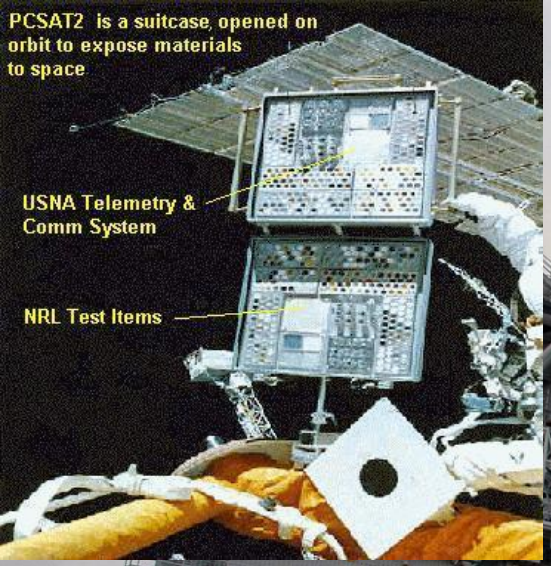
Brno University of Technology
Institute of Radio Electronics

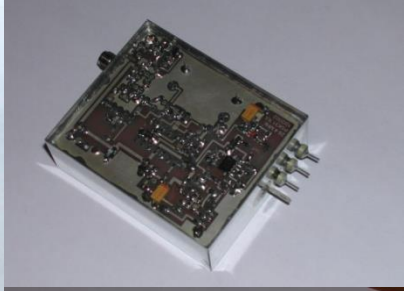


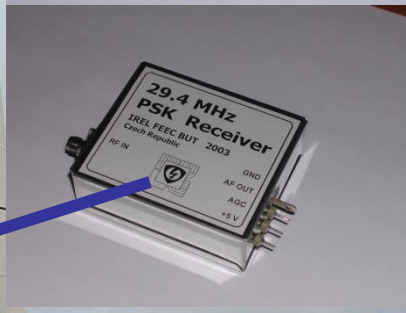




PCSAT 2





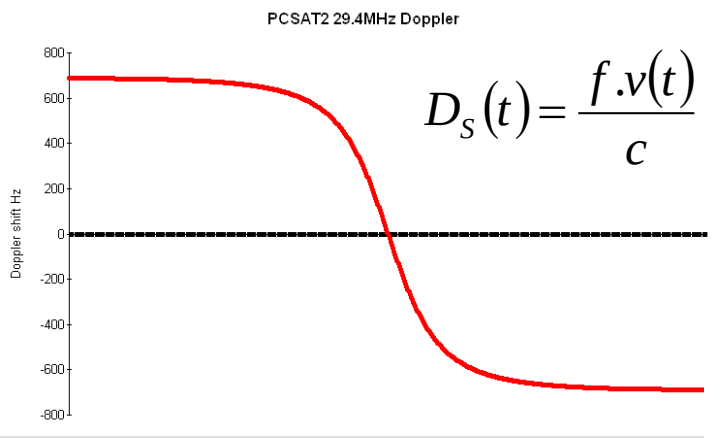


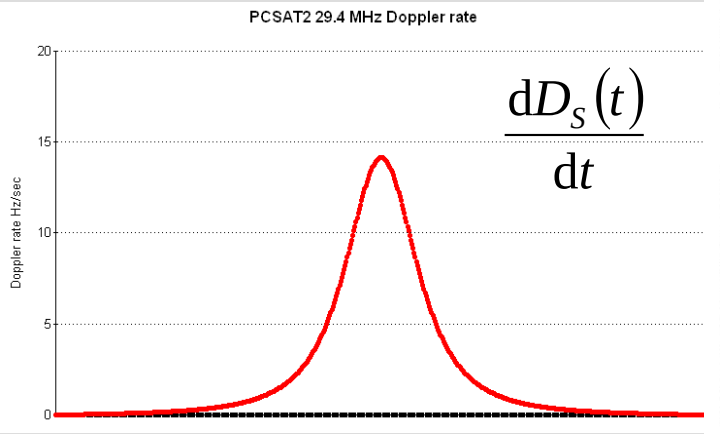
Discovery 26. 7. 2005

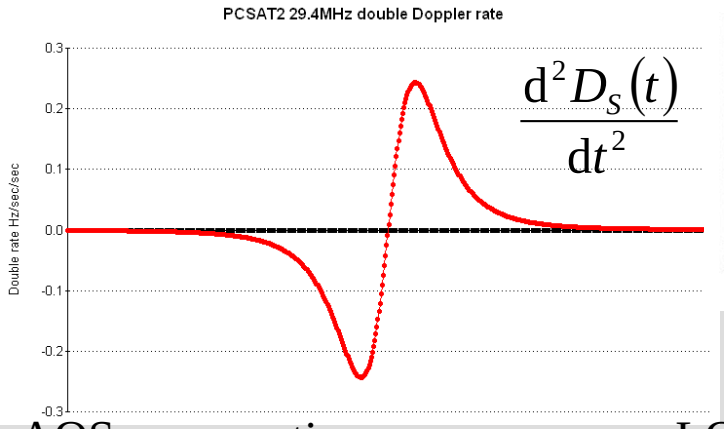
Úzkopásmový družicový transpondér pro pomalou datovou komunikaci – spolupráce s americkou Námořní Akademií


PCSAT 2

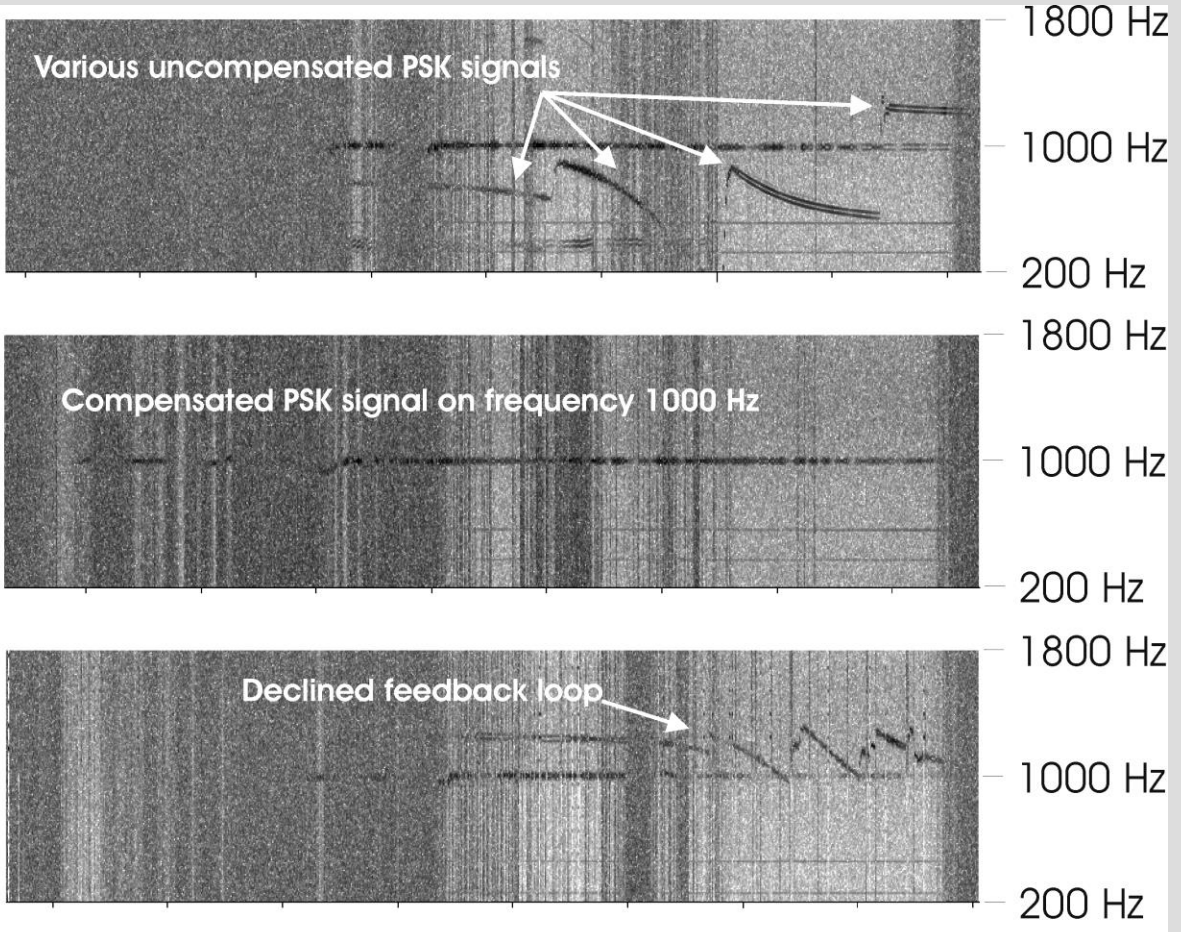
Dopplerův posuv v úzkopásmovém transpondéru na družici LEO







AOS time LOS

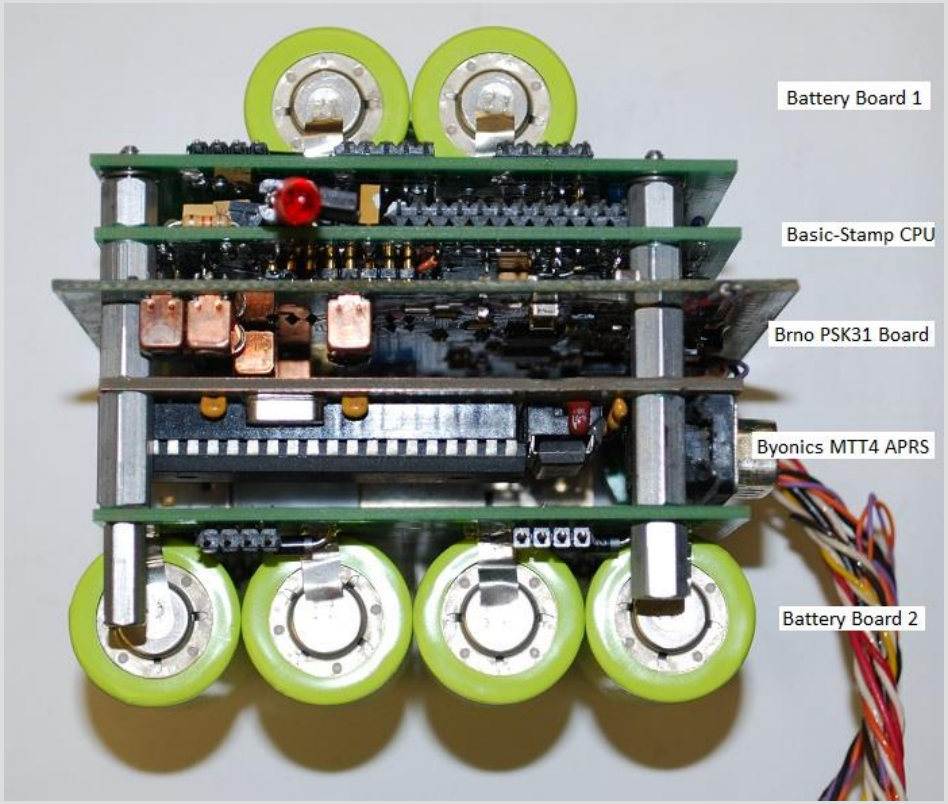


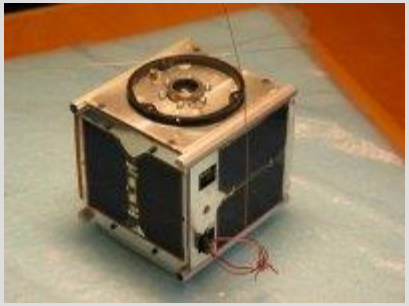
time [min]

PSat BricSat PSat-2

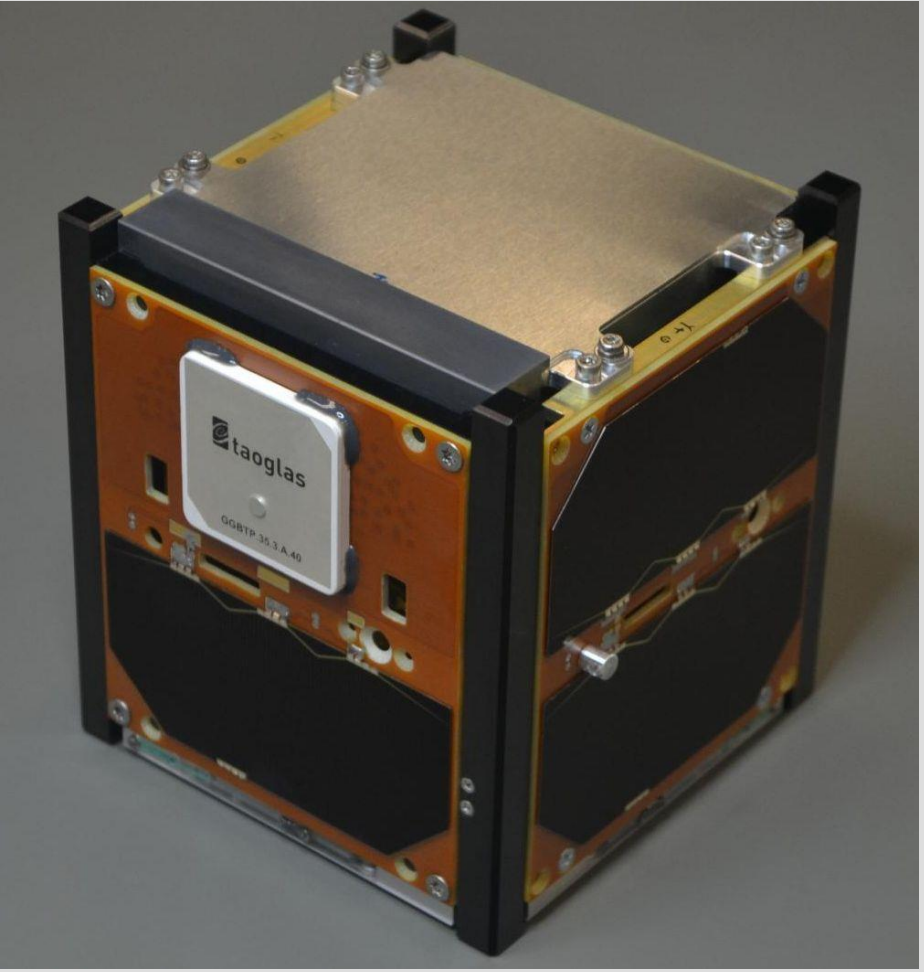
ve spolupráci s US Naval Academy








UHF 2M
UHF 70CM
Motherboard_TRX_V1a
PC/104
USS_Emmental_V01b
Put your hardware here you must !
USS_Module_ESP32
USS_FlatSat_V2a
SPACEMASTER
0÷30 V
0÷4A





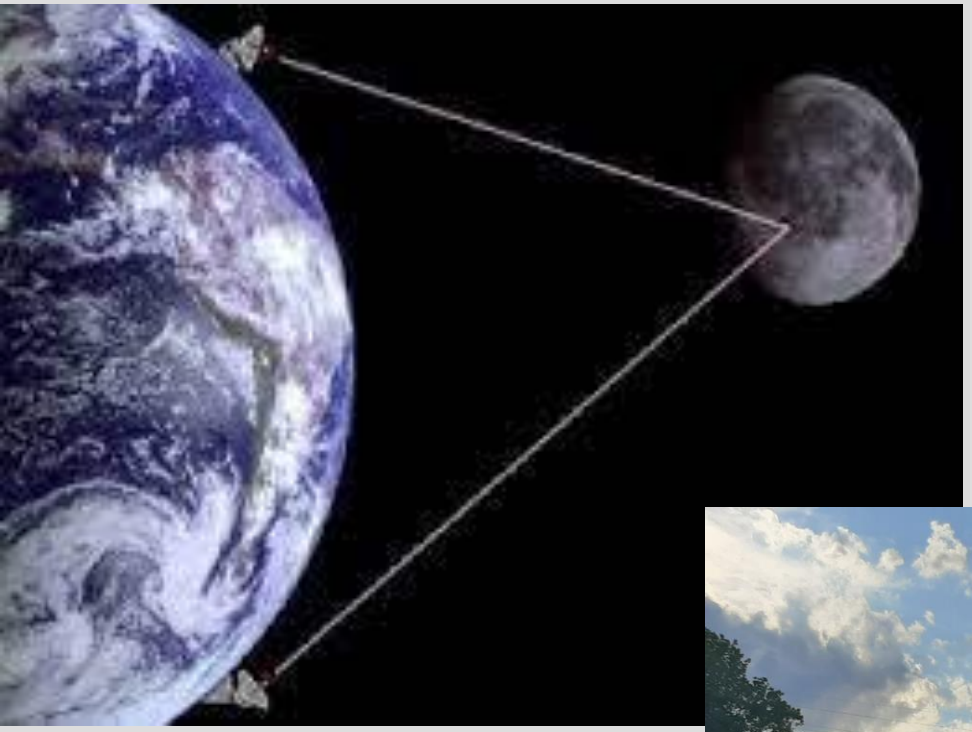
GRBAlpha

Scintilátor – pro detekci GAMA záblesků

BDSat

Tlakové senzory

Superkapacitory



Earth - Moon - Earth

Komunikace odrazem od přirozené družice Země - Měsíce



Děkuji Vám za pozornost.