

POZEMNÍ KOMUNIKAČNÍ STANICE NA BÁZI SDR PRO PODPORU MISÍ MALÝCH SATELITŮ

XXXI. ROČNÍK KONFERENCE RADIOKOMUNIKACE 2022

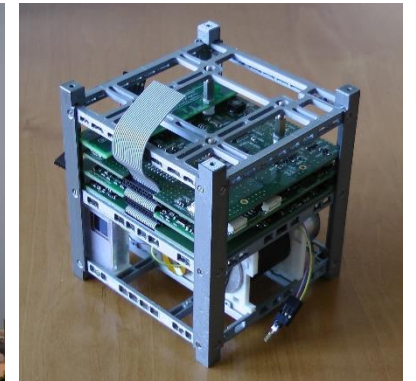
Ing. Ivo Veřtát, Ph.D.



FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY
V PLZNI

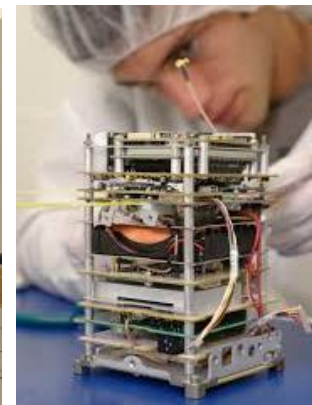
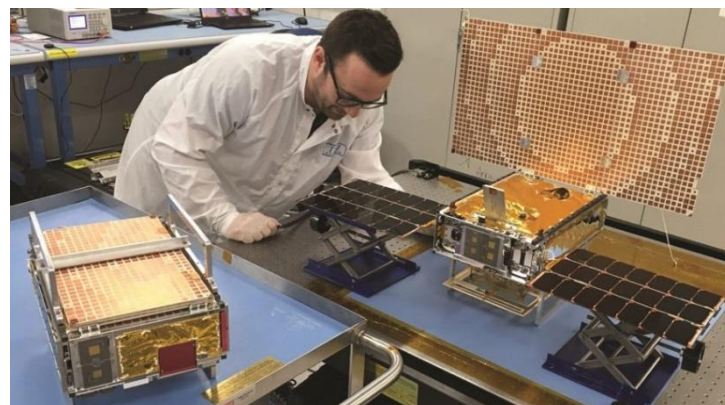
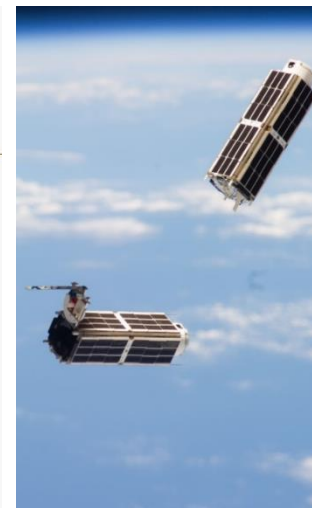
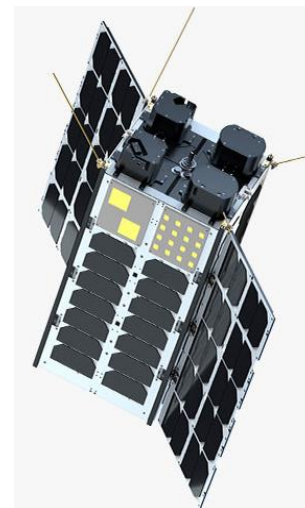
PŘEDSTAVENÍ NAŠÍ SKUPINY

- Malý tým na Západočeské univerzitě v Plzni, Fakultě elektrotechnické.
- Zabýváme se oblastí radiokomunikačních systémů a mikroelektronických systémů.
- Od roku 2009 uplatňujeme naše znalosti v oblasti malých satelitů.
- Provozujeme pozemní komunikační stanici pro operování malých satelitů na LEO dráze.
- V současnosti operujeme mise českých satelitů VZLUSAT-1 a VZLUSAT-2.
- Na našem pracovišti má zázemí a působí radioamatérský klub OK1OTM.



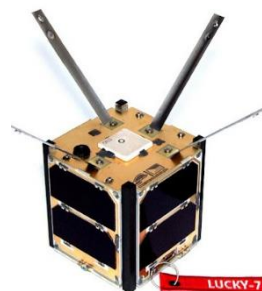
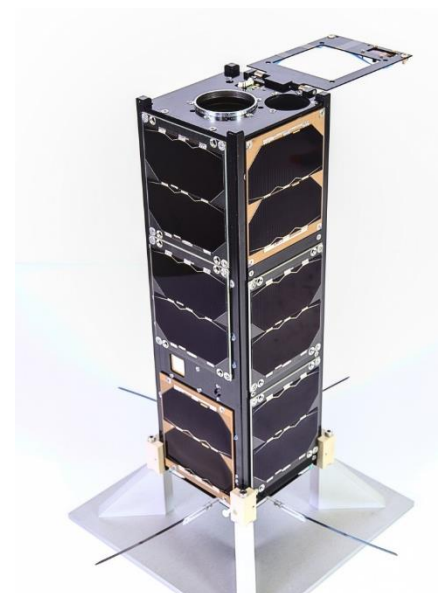
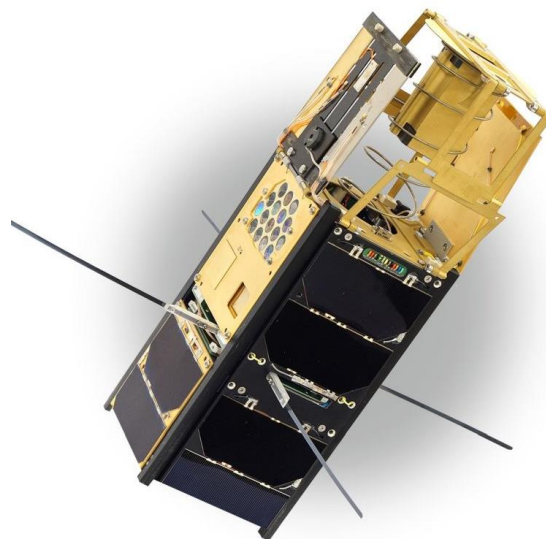
MISE MALÝCH SATELITŮ – NÁSTUP NOVÉ ÉRY

- Malé satelity používány od počátku výzkumu vesmíru (např. Vanguard 1), ale jejich skutečný masový rozvoj a popularizace od roku 1999 v podobě satelitů CubeSat.
- Původně program amerických univerzit na podporu vzdělávání nových odborníků pro „space“, dnes i silné komerční a vědecké využití (Planet Labs, MarCO).
- Běžné velikosti od 1U formátu (100 x 100 x 113 mm) až po násobné velikosti do 16U (226 x 226 x 454 mm).
- Vynesení do vesmíru formou sdílených startů alokovaných přeprodejcům „letenek“.



MISE MALÝCH SATELITŮ – ČESKÉ STOPY VE VESMÍRU

- V ČR po sérii satelitů Magion a Mimosa dlouhé období pauzy (2003-2017).
- Od roku 2017 ve vesmíru satelit VZLUSAT-1, provozován z naší univerzitní stanice v Plzni.
- Po VZLUSAT-1 celá řada dalších českých satelitů nebo satelitů se silnou českou stopou:
 - Lucky-7, GRB Alpha, VZLUSAT-2, BDSAT, Planetum-1,...
- Dnes v ČR běží několik studií proveditelnosti v rámci soutěže „Ambitious projects for the Czech republic“.



MISE MALÝCH SATELITŮ – JEJICH CESTA DO VESMÍRU

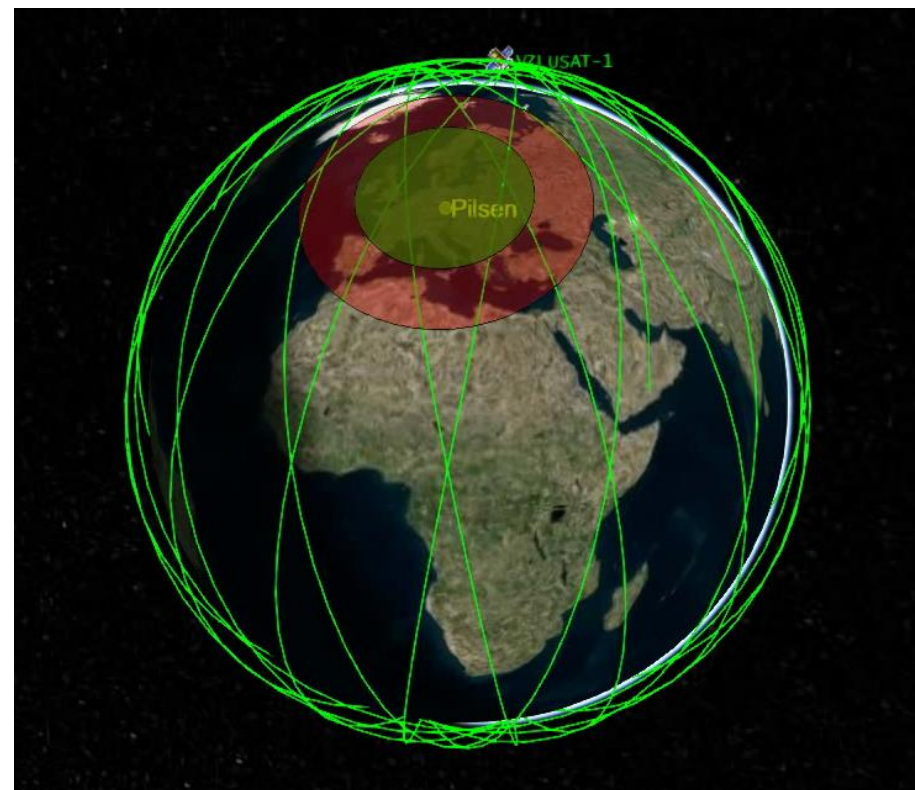
- Sdílené starty a využití separátorů pro velké množství malých satelitů jako sekundárního nákladu snižují ceny za vynesení do vesmíru a zjednodušují logistiku integrace satelitů.
- Desítky malých satelitů uvolněných v krátkém časovém sledu jsou noční můrou personálu 18th Space Control Squadron (dříve JSpOC) a operátorů satelitů.



[Animace sdíleného vynesení satelitů](#) a [video jejich separace během skutečné mise](#) – zdroj SpaceX.

CHARAKTER OPEROVÁNÍ MISÍ MALÝCH SATELITŮ NA LEO

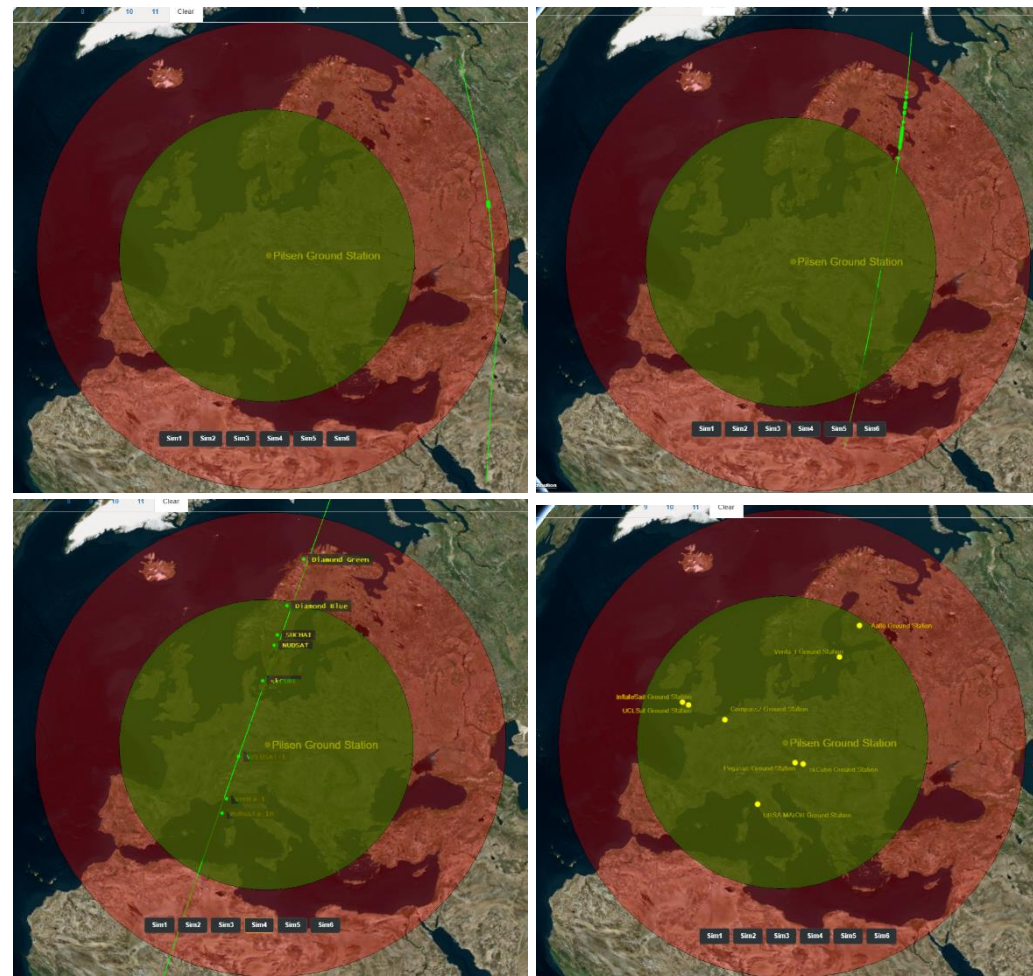
- Snižování nákladů na mise malých satelitů vede na použití levnější techniky (méně přesné a méně silné anténní rotátory, menší antény s nižším ziskem).
- Nízký výkon vysílačů malých satelitů (typicky max. 1 W), dlouhá komunikační vzdálenost (až 2500 km) a malý zisk antén vedou na nízké přenosové rychlosti.
- Omezený počet přeletů nad stanicí (obvykle 6x denně) a omezená přenosová rychlost limituje celkový objem stažitelných dat z malých satelitů.



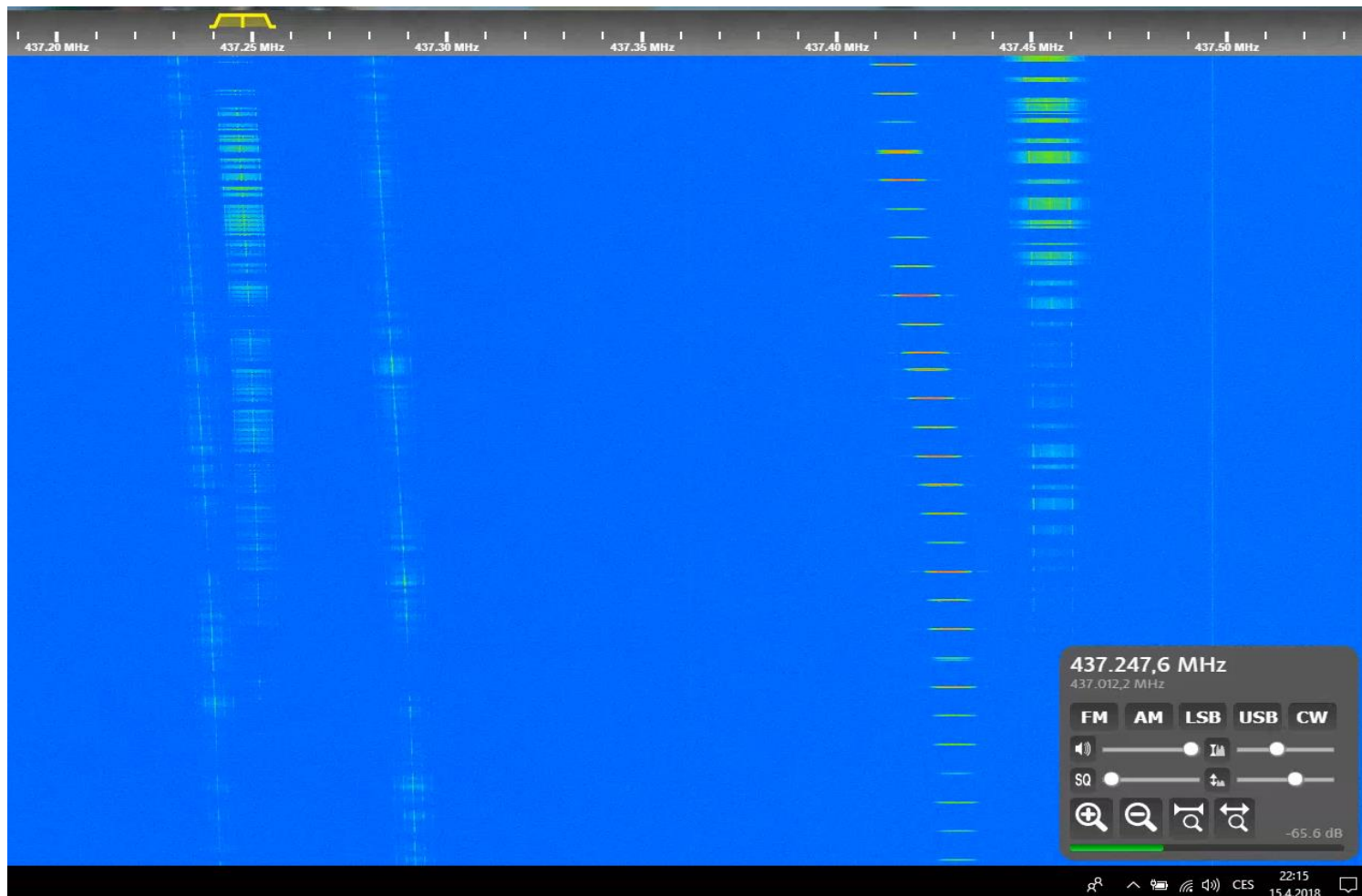
[Animace dráhy satelitu na LEO a jeho přeletů nad pozemní stanicí.](#)

KOMPLIKACE OPEROVÁNÍ PŘI SDÍLENÝCH STARTECH

- Neznámá pozice satelitu ve „vláčku“ v prvních dnech, někdy i týdnech po startu ...
 - komplikace správného polohování antén a kompenzace Dopplerova jevu.
- Nemožnost dokonalé koordinace kmitočtů, zejména v úzkém radioamatérském UHF pásmu ...
 - mnoho pozemních stanic ve stejné lokalitě se pokouší kontaktovat blízké satelity na blízkých frekvencích (vzájemné rušení).



KOMPLIKACE OPEROVÁNÍ PŘI SDÍLENÝCH STARTECH



Záznam přeletu satelitu na online SDR přijímači v síti OpenWebRx a ukázka
zaplněnosti UHF radioamatérského satelitního pásma.

KONVENČNÍ ŘEŠENÍ MALÝCH POZEMNÍCH STANIC

- Levnější dvouosý rotátorový systém se směrovými anténami.
- Univerzální radioamatérský transceiver + externí datový modem (hw, sw).
- Nebo dedikovaný hardwarový „all in one“ transceiver od výrobce transceiveru satelitu.
- Nutný velký podíl vlastního vývoje (zejména hw a sw rozhraní) pro vzájemné propojení, součinnost a diagnostiku všech částí.
- Nyní se zde silně uplatňují SDR pro řešení hlavních problémů sdílených startů, limitů a různorodosti malých satelitů.



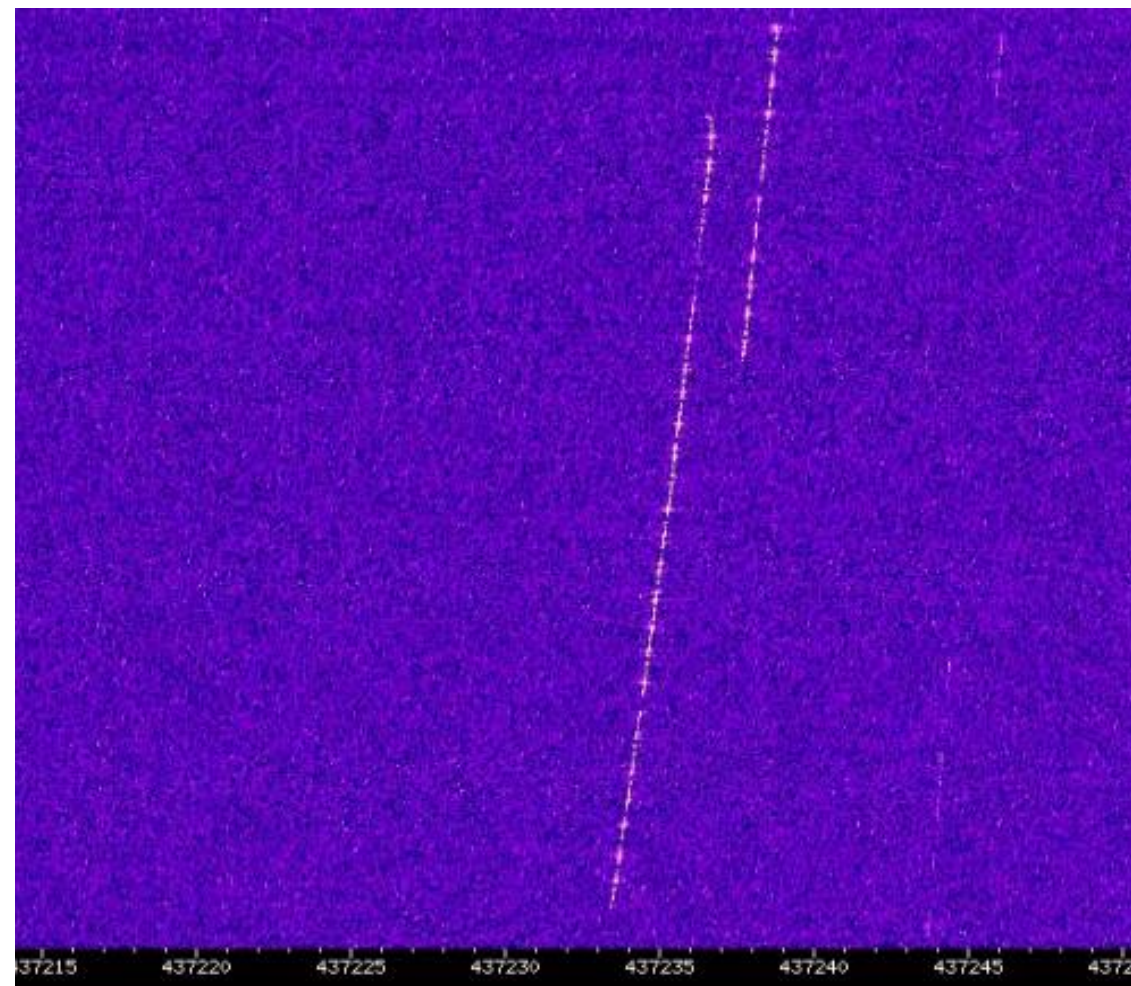
TECHNOLOGIE SDR

- Softwarově definovaná rádia slouží jako A/D a D/A převodníky pro RF signály, kde podstatná část zpracování signálu probíhá pomocí softwaru v digitální části (FPGA, DSP, osobní počítač).
- Na trhu velmi mnoho produktů v širokém cenovém i kvalitativním rozpětí – od jednoduchých USB SDR klíčenek až po mnohakanálové fázově koherentní systémy pro testování masivních MIMO systémů.
- Levná SDR pomáhají popularizovat radiotechniku u tvůrčí veřejnosti všeho věku.



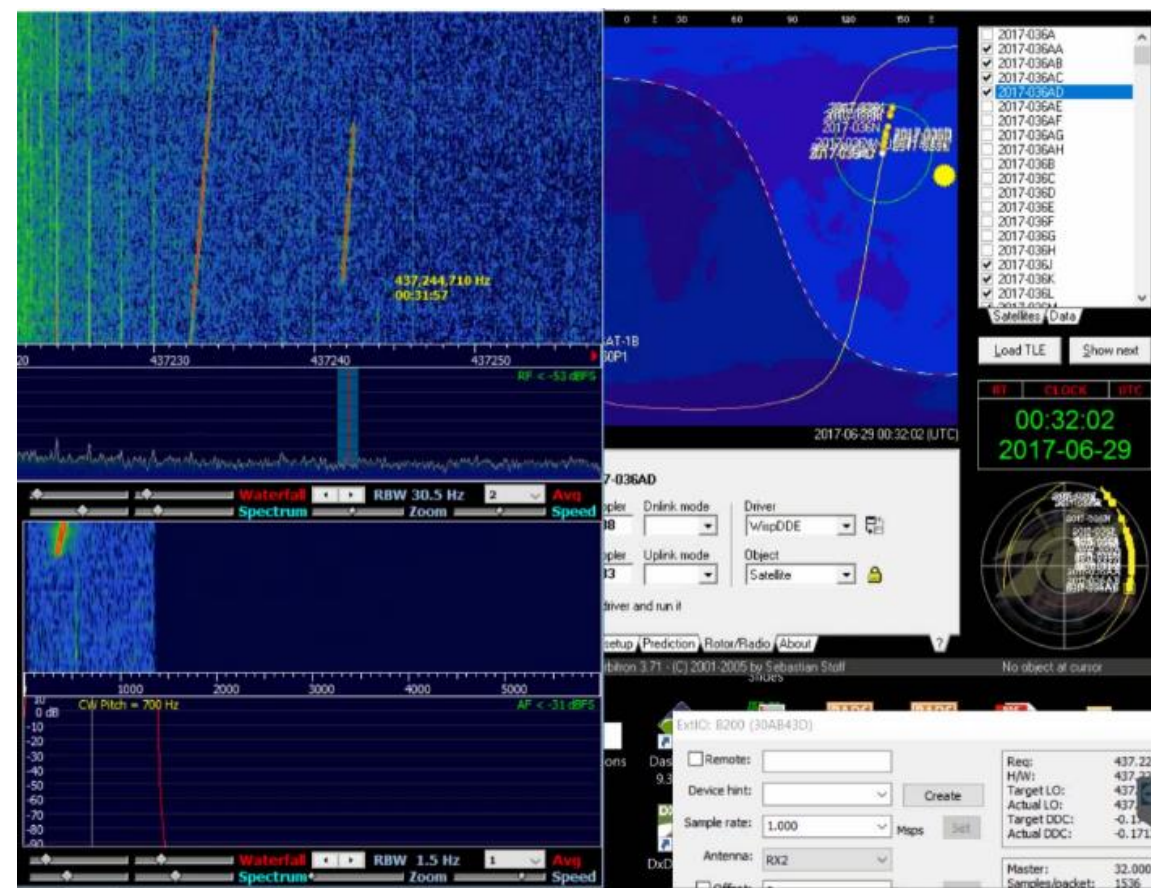
VYUŽITÍ SDR V MALÝCH POZEMNÍCH STANICÍCH

- Usnadňuje monitorovat širší frekvenční okolí přijímaného signálu a identifikovat rušení od jiného satelitu.
- Usnadňuje monitorovat tvar Dopplerova posunu a zpřesnit výběr TLE při úvodních operacích při sdílených startech raket.
- Usnadňuje realizovat záznamy přijímaných signálů pro pozdější analýzu problémů.
- Usnadňuje pozemní testování satelitů a odstranění většiny sw chyb komunikačních systémů.
- Usnadňuje sdílení pozemních stanic pro odlišné komunikační formáty malých satelitů.



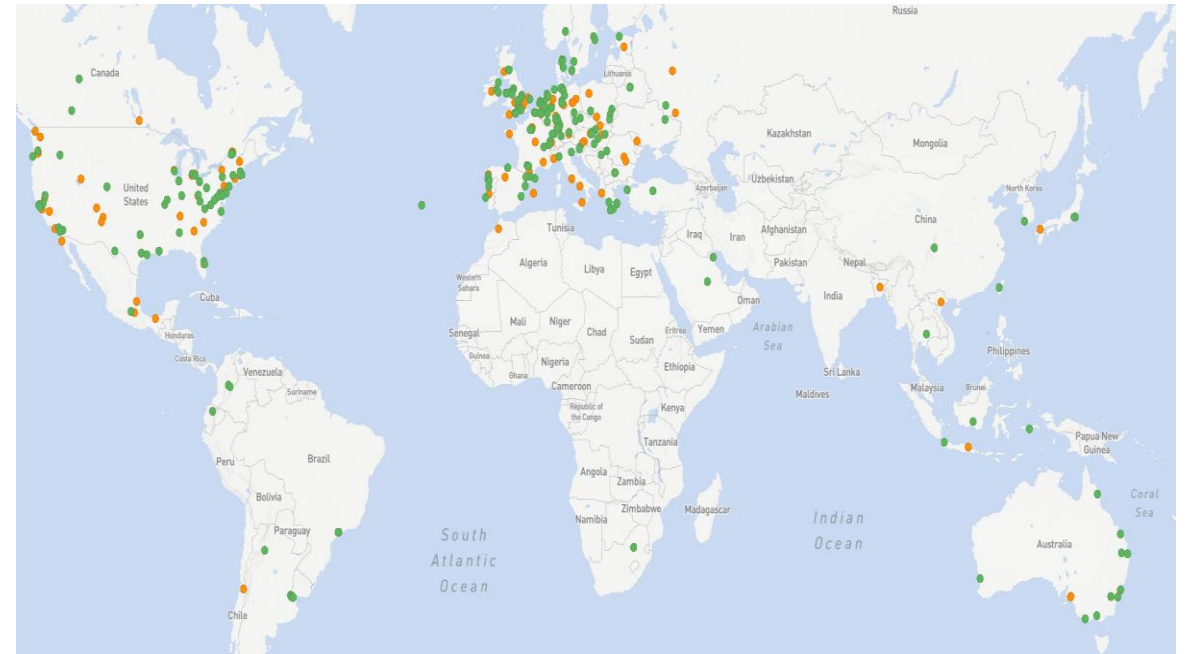
VYUŽITÍ SDR V MALÝCH POZEMNÍCH STANICÍCH

- Usnadňuje monitorovat širší frekvenční okolí přijímaného signálu a identifikovat rušení od jiného satelitu.
- Usnadňuje monitorovat tvar Dopplerova posunu a zpřesnit výběr TLE při úvodních operacích při sdílených startech raket.
- Usnadňuje realizovat záznamy přijímaných signálů pro pozdější analýzu problémů.
- Usnadňuje pozemní testování satelitů a odstranění většiny sw chyb komunikačních systémů.
- Usnadňuje sdílení pozemních stanic pro odlišné komunikační formáty malých satelitů.



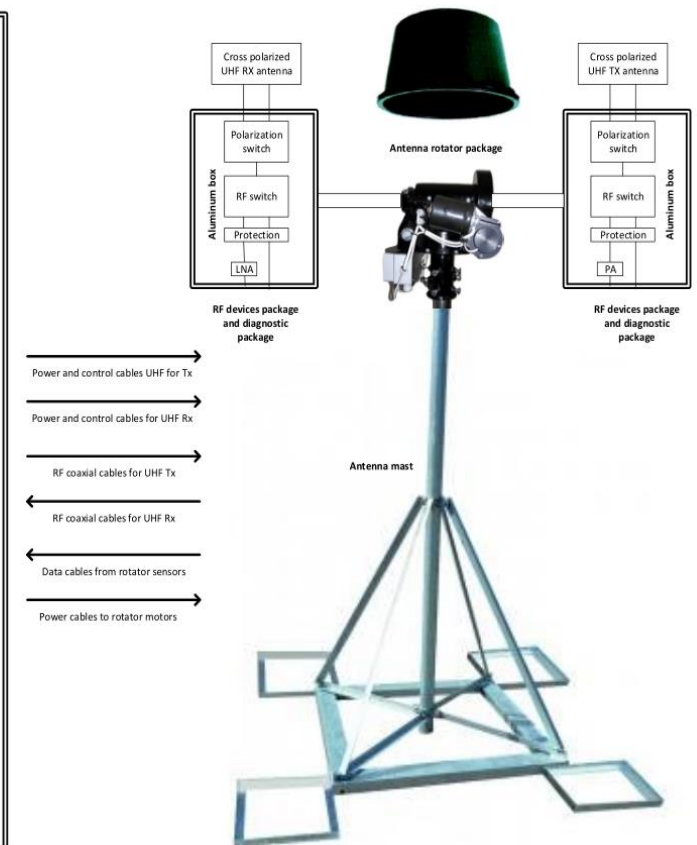
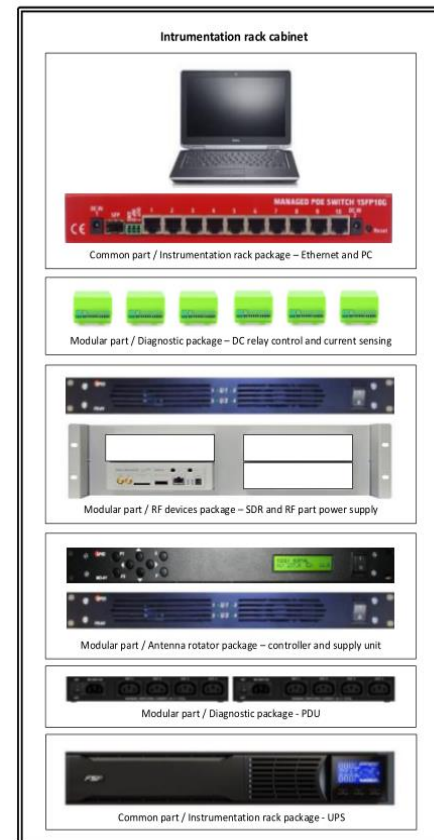
VYUŽITÍ SDR V MALÝCH POZEMNÍCH STANICÍCH

- Usnadňuje monitorovat širší frekvenční okolí přijímaného signálu a identifikovat rušení od jiného satelitu.
- Usnadňuje monitorovat tvar Dopplerova posunu a zpřesnit výběr TLE při úvodních operacích při sdílených startech raket.
- Usnadňuje realizovat záznamy přijímaných signálů pro pozdější analýzu problémů.
- Usnadňuje pozemní testování satelitů a odstranění většiny sw chyb komunikačních systémů.
- Usnadňuje sdílení pozemních stanic pro odlišné komunikační formáty malých satelitů.

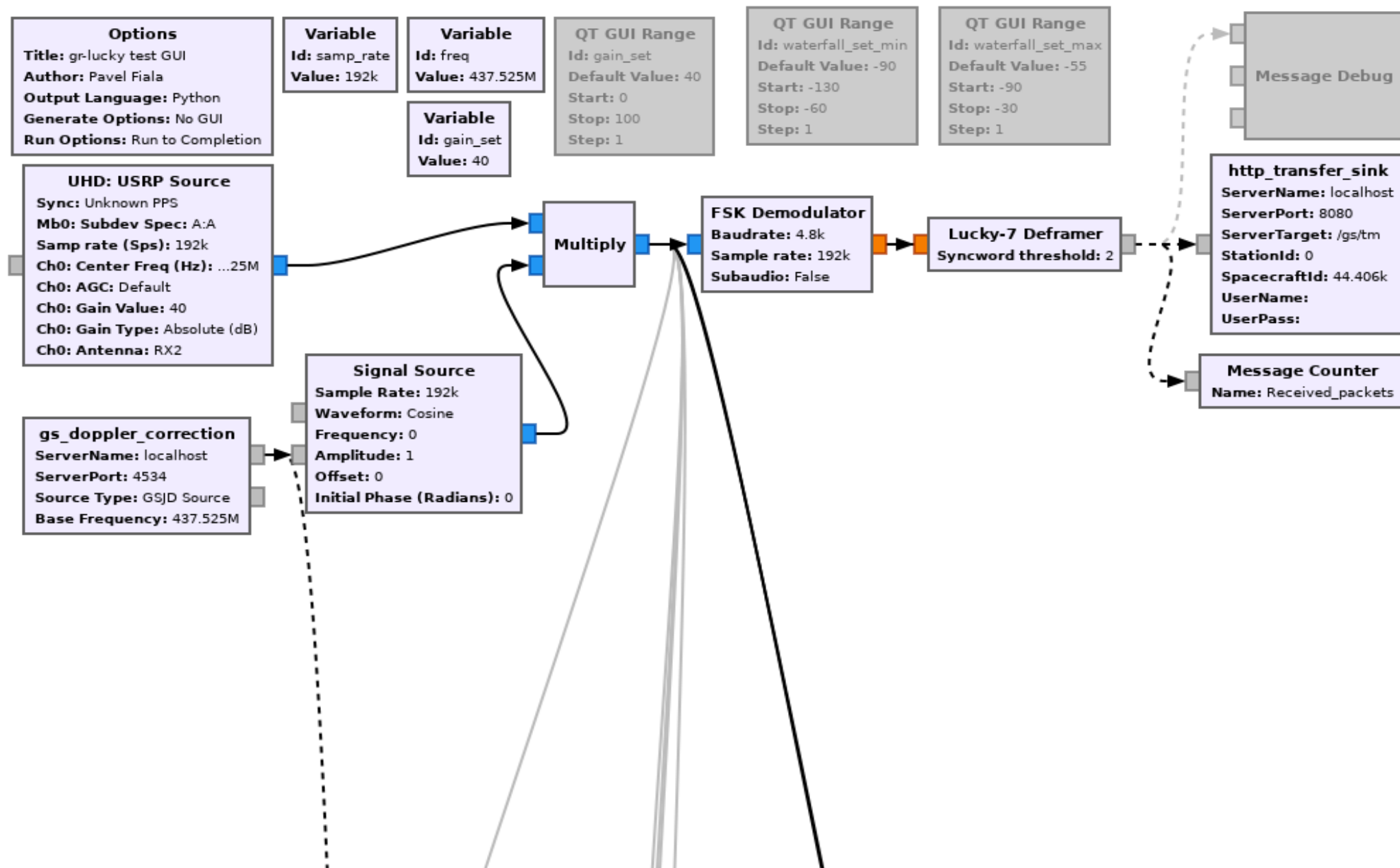


TESTOVÁNÍ SDR V POZEMNÍ STANICI V PLZNI

- Cílem bylo otestovat cenově dostupnou kategorii SDR pro univerzální a modulárně rozšiřitelnou pozemní stanici.
- Společný základ v podobě anténního rotátoru, SDR a počítačového řízení doplněn o externí RF příslušenství (filtry, nízkošumové zesilovače, výkonové zesilovače, antény,...).
- Pro jednotlivé satelity se plánovaně spouští vlastní řetězec bloků v prostředí GNU Radio.
- Jako výchozí SDR použito Ettus Research B210 (70 MHz – 6GHz, 12 bitové A/D a D/A, 2x Rx a 2x Tx řetězec, BW až 61 MHz).



gr_lucky_test 



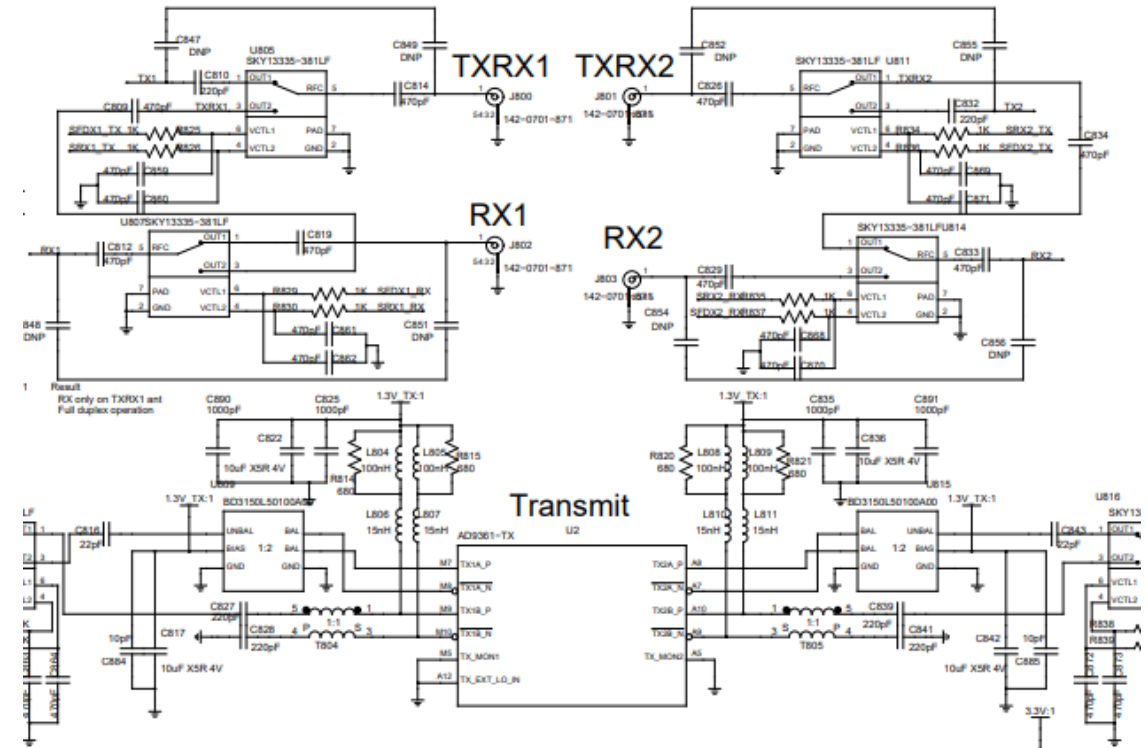
```
Loading: "/home/riki/vzlu_sat_tx_0_LOoffset_NoGUI.grc"
>>> Done
```

Id	Value
Imports	

- ▶ Core
 - ▶ GPredict
 - ▶ GrNet Networking Tools
 - ▶ gsSDR
 - ▶ Sandia
- ▼ Satellites
 - ▶ AX.25
 - ▶ CCSDS
 - ▶ CC11xx
 - ▶ Coding
 - ▶ Core
 - ▶ CRC
 - ▶ CSP
 - ▶ Data sinks
 - ▶ Data sources
 - ▶ Deframers
 - ▶ Demodulators
 - ▶ ESEO
 - ▶ FEC
 - ▶ GOMspace
 - ▶ KISS
 - ▶ Level Controllers
 - ▶ Misc
 - ▶ NGHAm
 - ▶ Packet
 - ▶ Packet Operators
 - ▶ PDU
 - ▶ Scrambling
 - ▶ SX12xx
 - ▶ Telemetry

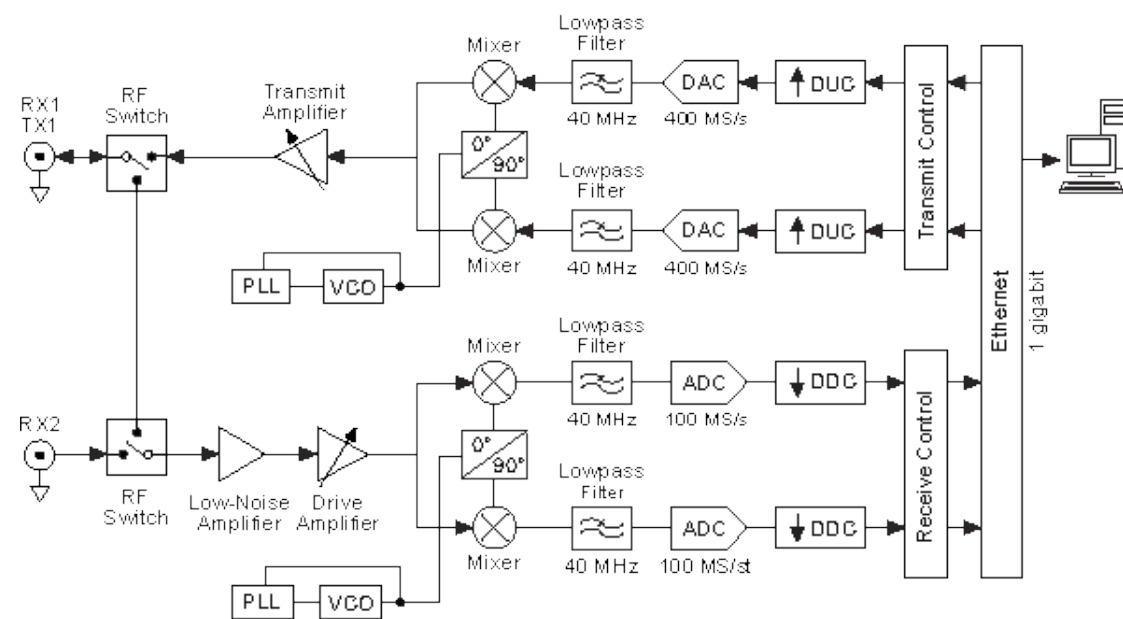
ŘEŠENÉ PROBLÉMY PŘI POUŽITÍ SDR

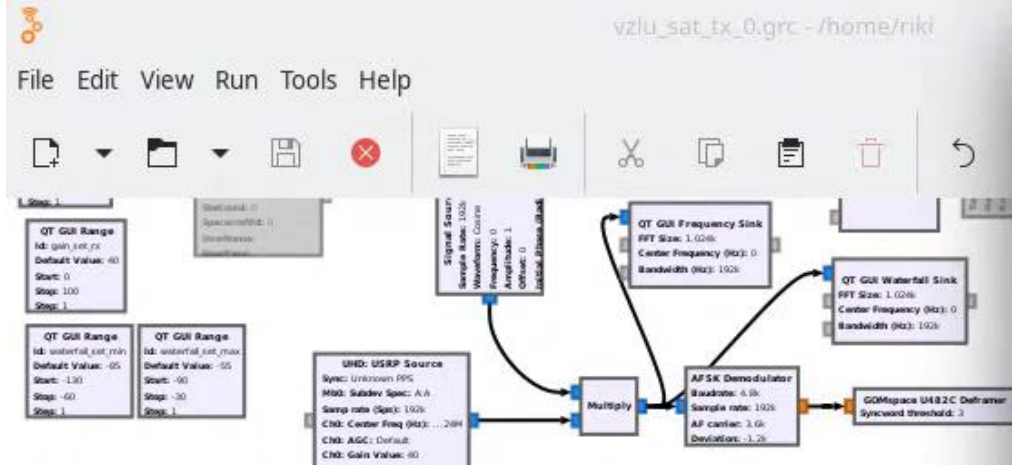
- Většina SDR koncipována jako vývojová platforma, ne jako koncový produkt. Je nutné externě zajistit dostatečnou citlivost, šumové vlastnosti, výstupní výkon,....
- Minimalizace ceny a širokopásmovost SDR vede na horší technické parametry analogové části při zpracování RF signálů (zkreslení a linearita, potlačení vazeb, prosakování lokálních oscilátorů a jejich stabilita, interní rušení od digitálních částí).
- Závislost na softwarových produktech třetích stran a udržování vzájemné kompatibility.



ŘEŠENÉ PROBLÉMY PŘI POUŽITÍ SDR

- Vysoké šumové číslo vestavěného LNA, snadná přebuditelnost vestavěného LNA, dlouhý ztrátový kabel k anténám... problém dosáhnout dobré citlivosti přijímače.
- Prosakování lokálního oscilátoru do spektra digitalizovaného signálu s negativním dopadem na demodulaci.
- Nedostatečná izolace portů vestavěného Rx/Tx přepínače v kombinaci s vysokým ziskem externích LNA a PA zesilovačů způsobovala zahlcení vstupu SDR.

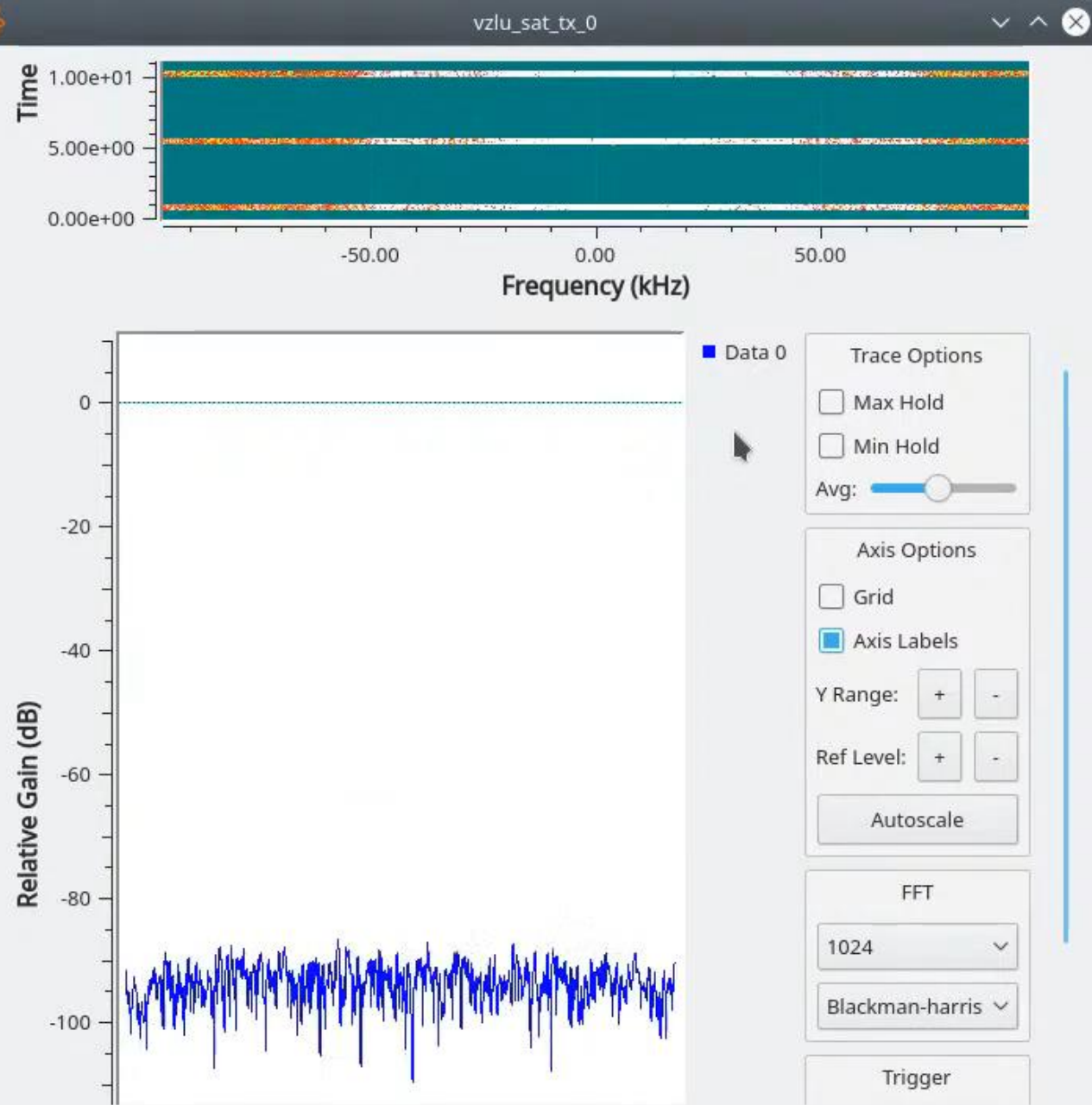


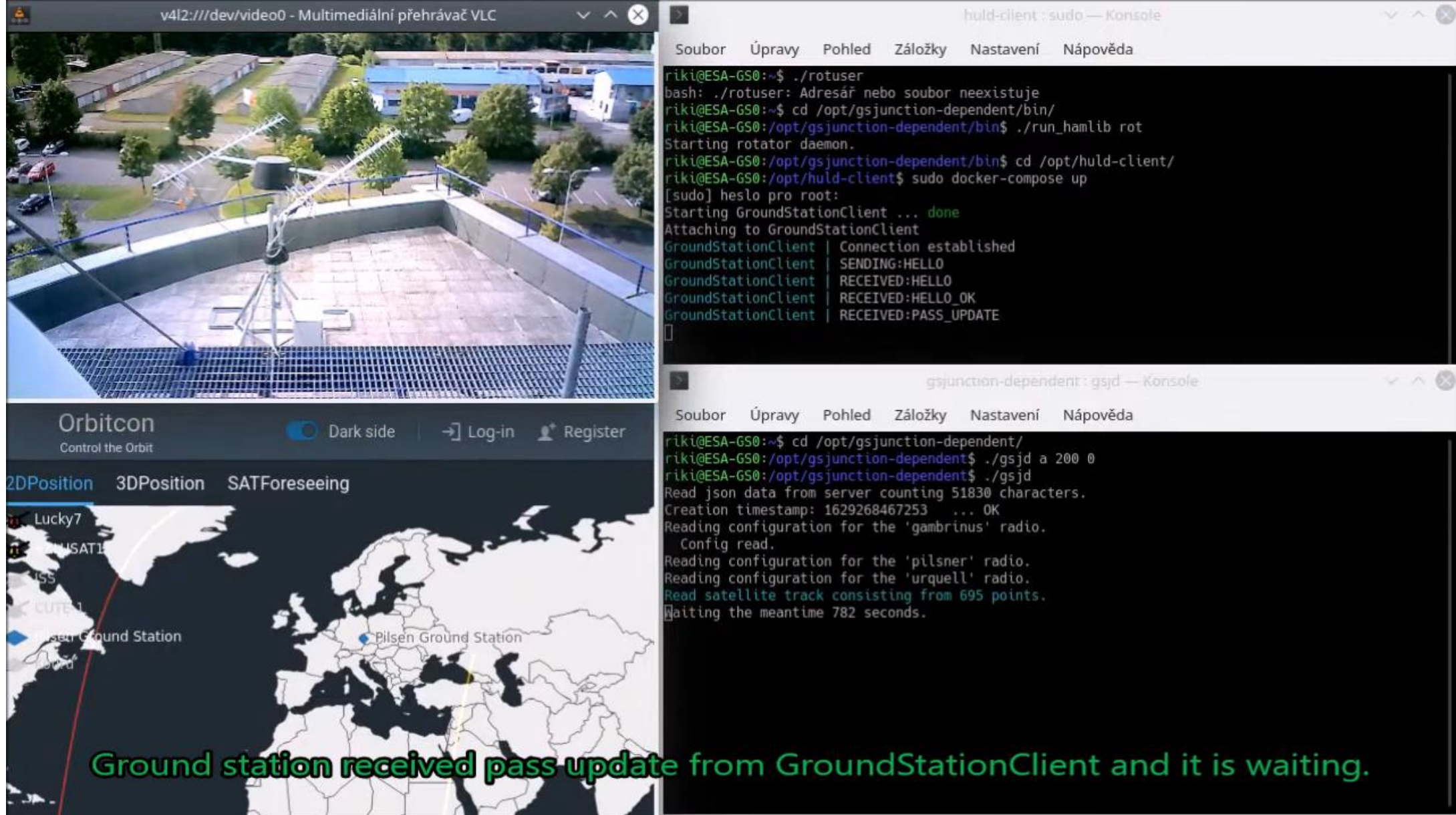


```

Accepting new request ...
***** MESSAGE DEBUG PRINT *****
((freq . 3840))
*****
GSJD RX frequency: 437236133 and correction is: 3872
GSJD TX frequency: 437243866 and correction is: 3872
Accepting new request ...
***** MESSAGE DEBUG PRINT *****
((freq . 3872))
*****
GSJD RX frequency: 437236105 and correction is: 3904
GSJD TX frequency: 437243894 and correction is: 3904
Accepting new request ...
***** MESSAGE DEBUG PRINT *****
((freq . 3904))
*****
Get trigger: TEST
GSJD RX frequency: 437236077 and correction is: 3936
GSJD TX frequency: 437243922 and correction is: 3936
Accepting new request ...
***** MESSAGE DEBUG PRINT *****
((freq . 3936))
*****

```





The image is a composite of four panels. The top-left panel shows a video feed of a ground station antenna on a rooftop. The top-right panel is a terminal window titled 'huld-client : sudo — Konsole' showing the execution of a script to start a rotator daemon and connect to a GroundStationClient. The bottom-left panel is a screenshot of the 'Orbitcon' web interface, displaying a map of Europe with satellite tracks and labels for 'Lucky7', 'SAT1', 'CUTE-1', 'Pilsen Ground Station', and 'Pilsen Ground Station'. The bottom-right panel is another terminal window titled 'gsjunction-dependent : gsjd — Konsole' showing the execution of a script to read satellite track data and wait for a pass update.

Terminal 1 (huld-client):

```
riki@ESA-GS0:~$ ./rotuser
bash: ./rotuser: Adresář nebo soubor neexistuje
riki@ESA-GS0:~$ cd /opt/gsjunction-dependent/bin/
riki@ESA-GS0:/opt/gsjunction-dependent/bin$ ./run_hamlib rot
Starting rotator daemon.
riki@ESA-GS0:/opt/gsjunction-dependent/bin$ cd /opt/huld-client/
riki@ESA-GS0:/opt/huld-client$ sudo docker-compose up
[sudo] heslo pro root:
Starting GroundStationClient ... done
Attaching to GroundStationClient
GroundStationClient | Connection established
GroundStationClient | SENDING:HELLO
GroundStationClient | RECEIVED:HELLO
GroundStationClient | RECEIVED:HELLO_OK
GroundStationClient | RECEIVED:PASS_UPDATE
[]
```

Terminal 2 (gsjunction-dependent):

```
riki@ESA-GS0:~$ cd /opt/gsjunction-dependent/
riki@ESA-GS0:/opt/gsjunction-dependent$ ./gsjd a 200 0
riki@ESA-GS0:/opt/gsjunction-dependent$ ./gsjd
Read json data from server counting 51830 characters.
Creation timestamp: 1629268467253 ... OK
Reading configuration for the 'gambrinus' radio.
Config read.
Reading configuration for the 'pilsner' radio.
Reading configuration for the 'urquell' radio.
Read satellite track consisting from 695 points.
Waiting the meantime 782 seconds.
```

Orbitcon Interface:

Orbitcon
Control the Orbit

Dark side [] Log-in Register

2DPosition 3DPosition SATForeseeing

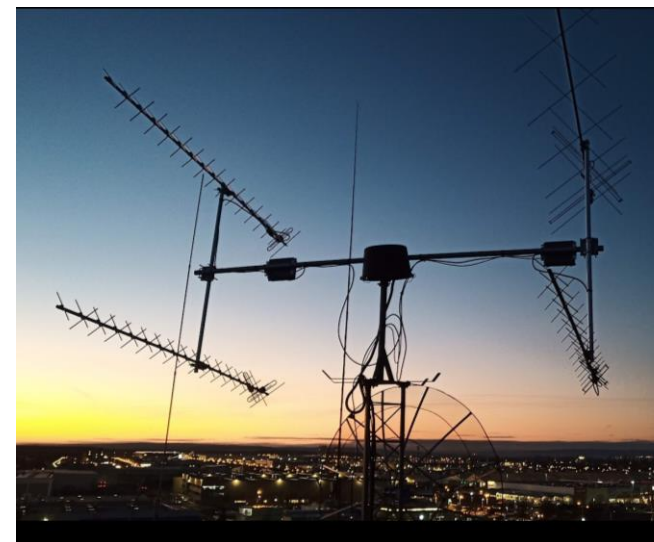
Lucky7
SAT1
CUTE-1
Pilsen Ground Station
Pilsen Ground Station

Ground station received pass update from GroundStationClient and it is waiting.

[Ukázka automatizace činnosti pozemní stanice a testování SDR rádia během přeletu satelitu zachyceném na převozitelné pozemní stanici.](#)

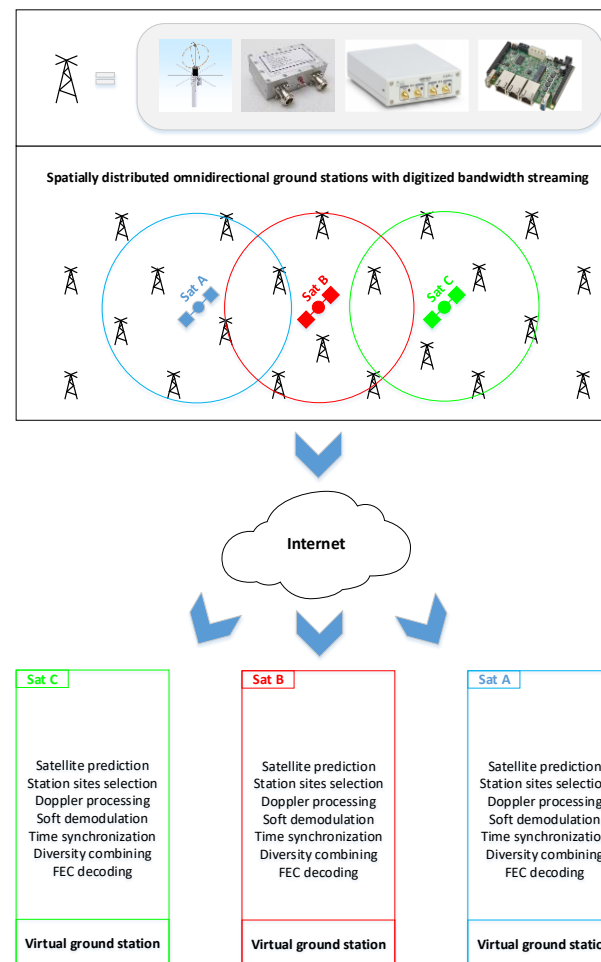
AKTUÁLNÍ PODOBA STANICE V PLZNI A DALŠÍ PLÁNY

- Operování VZLUSAT-1 pomocí ICOM IC-910 a externího GomSpace modemu.
- Operování VZLUSAT-2 pomocí dedikovaného transceiveru GomSpace.
- Provoz stanice i operování satelitů plně automatizováno, se vzdáleným dohledem, stále možnost i manuálního vzdáleného operování.
- Jeden SDR přijímač (AirSpy R2) připojen na příposlech pro diagnostiku případných problémů nebo pro výpomoc stanice jiným satelitům.
- Jeden SDR přijímač (AirSpy R2) s turnstile všesměrovou anténou začleněn do komunitní sítě přijímačů Satnogs.



AKTUÁLNÍ PODOBA STANICE V PLZNI A DALŠÍ PLÁNY

- Budoucí mise pravděpodobně již plně s využitím SDR místo dedikovaných transceiverů.
- Výzkumné práce na možnostech masivního postdetekčního diverzitního kombinování přijatých signálů z jednoduchých všesměrových SDR přijímačů pro plné využití potenciálu veřejných nebo komunitních SDR přijímačů (Satnogs, Spyserver, WebSDR, OpenWebRx,...).
- Podpora ambiciózních misí budoucích českých satelitů, popularizace kosmických misí, výchova odborníků.



POZEMNÍ KOMUNIKAČNÍ STANICE NA BÁZI SDR PRO PODPORU MISÍ MALÝCH SATELITŮ

Děkuji za pozornost

Ivo Veřtát
ivertat@fel.zcu.cz
www.fel.zcu.cz

