



EXPERIMENTÁLNE ZÍSKAVANIE METEOROLOGICKÝCH DÁT Z POLÁRNYCH SATELITOV PRE ZABEZPEČENIE OPERAČNEJ KONTINUITY

Maximilián Kupec, Matúš Grega

ARTICLE HISTORY

Submitted: 29. 04. 2025

Accepted: 15. 06. 2025

Published: 30. 06. 2025

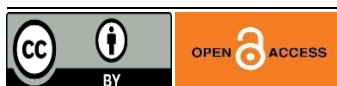
ABSTRACT

Vzhľadom na narastajúcu dôležitosť informácií z otvorených zdrojov (OSINT) v modernom spravodajstve, článok ponúka multidimenzionálny prístup, ktorý zahŕňa vedecké, teoretické aj praktické aspekty experimentálneho získavania meteorologických údajov z polárnych satelitov. Teoretická časť článku predstavuje prehľad základných princípov fungovania polárnych meteorologických satelitov – zariadení, ktoré zabezpečujú globálne pokrytie a poskytujú aktuálne dáta o atmosférických podmienkach, kľúčových pre vyhodnocovanie operačných situácií. Z vedeckého hľadiska je skúmaná metodológia získavania a analýzy týchto dát so zameraním na kvalitatívnu validáciu zdrojov a ich potenciál doplniť primárne spravodajské systémy.

Praktická časť experimentu ilustruje implementáciu technológie Software Defined Radio na príjem a dekodovanie satelitných signálov v reálnom čase. Detailne sú popísané experimentálne nastavenia, konfigurácia SDR prijímača a optimalizácia anténneho systému, ktoré umožnili zvýšiť kvalitu a robustnosť získaných dát aj pri zvýšenom rušení.

KEYWORDS

Degradation of intelligence systems, experimental data acquisition, meteorological data, operational continuity, OSINT, polar satellites, defined radio, intelligence, military operations.



© 2022 by Author(s). This is an open access article under the Creative Commons Attribution International License (CC BY). <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

ÚVOD

Moderné vojenské operácie sú čoraz viac závislé na rýchlo dostupných a presných informáciách. Ak primárne spravodajské systémy zlyhajú, môžu vzniknúť potencionálne vektory, ohrozujúce operačnú kontinuitu a strategické rozhodovanie. Informácie získavané z otvorených zdrojov (OSINT) preto získavajú na význame ako cenný záložný zdroj. Technologický pokrok v oblasti polárnych meteorologických satelitov prináša možnosť zabezpečiť globálne a aktuálne dáta o atmosférických podmienkach, ktoré môžu robustne podporiť vojenské operácie aj v prípade výpadkov tradičných systémov (European Aviation Safety Agency, 2015).

Medzi kľúčové ciele v tomto článku patrí:

- Teoreticky predstaviť základné princípy fungovania polárnych meteorologických satelitov a metodológiu získavania meteorologických údajov, pričom vyzdvihuje význam OSINT v modernom spravodajstve.
- Prakticky demonštrovať experimentálnu implementáciu technológie Software Defined Radio (SDR) na príjem a dekodovanie satelitných signálov v reálnom čase.
- Preukázať, ako optimalizácia konkrétnych technických parametrov (napr. zvýšenie anténneho zisku a automatická korekcia Dopplerovho efektu) vedie k výraznému zlepšeniu kvality a robustnosti získaných dát.
- Prezentovať spôsob, akým integrácia získaných OSINT údajov môže zabezpečiť operačnú kontinuitu vojenských operácií a krízových situácií.

Týmto spôsobom článok spája teoretické poznatky s praktickými experimentálnymi skúsenosťami, čím poskytuje komplexný pohľad na problematiku získavania dát z polárnych satelitov a ich význam pre zabezpečenie operačnej kontinuity v moderných vojenských operáciách.

1. TEORETICKÝ RÁMEC

Otvorené zdroje informácií – OSINT

OSINT predstavujú postupnosť metodík zameraných na zhromažďovanie, analýzu a spracovanie údajov získavaných z verejne dostupných zdrojov. Medzi tieto zdroje patria napríklad internet, sociálne médiá, tlačové agentúry, vedecké publikácie, oficiálne vládne databázy, a v kontexte tohto článku aj satelitné dáta. OSINT je založený na princípe, že informácie dostupné pre širokú verejnosť môžu byť kvalitne spracované a interpretované tak, aby poskytovali cenné a overené poznatky pri podpore rozhodovacích procesov vo vojenskom prostredí.

Historicky bolo spravodajstvo založené prevažne na uzavretých, klasifikovaných zdrojoch, avšak s rozmachom digitálnej komunikácie a globalizáciou informačného priestoru získal OSINT výrazný rozmer. Moderné informačné technológie umožnili prístup k obrovskému množstvu dát, ktoré je možné efektívne analyzovať pomocou pokročilých algoritmov a umelej inteligencie. Táto transformácia prispela k tomu, že OSINT je neoddeliteľnou súčasťou komplexného spravodajského systému, keďže umožňuje rýchle získavanie, overovanie a aktualizáciu informácií, čo je obzvlášť dôležité v dynamickom prostredí vojenských operácií.

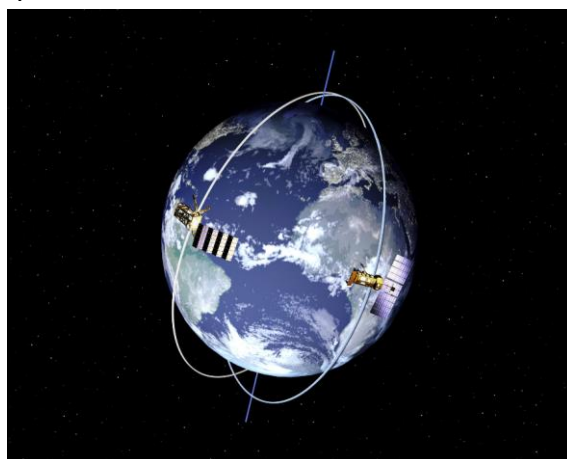
OSINT zohráva kľúčovú úlohu pri zabezpečovaní operačnej kontinuity, najmä v prípade degradácie alebo zlyhania primárnych spravodajských systémov. Vďaka svojej dostupnosti a neustálej aktualizovateľnosti môže OSINT poskytovať dôležité doplňujúce dáta, ktoré pomáhajú validovať a doplniť informácie získavané z klasických, často uzavretých zdrojov. Pre vojenské operácie znamená táto forma informácií možnosť rýchlej reakcie na meniace sa podmienky v teréne, identifikáciu potenciálnych hrozieb a optimalizáciu strategického

plánovania. Taktiež umožňuje tvorbu záložného spravodajského zdroja, ktorý môže byť kľúčový v situáciách, kde sú tradičné systémy kompromitované či úplne nedostupné.

Integrácia OSINT do moderných vojenských spravodajských systémov predstavuje strategický posun, ktorý umožňuje rýchle prispôsobenie operačného nastavenia a zvyšuje robustnosť celkového spravodajského rámca. V tomto článku je zámerom poukázať na synergický vzťah medzi tradičnými a otvorenými zdrojmi informácií, ktorý môže prispieť k zvýšeniu bezpečnosti a operačnej efektívnosti počas krízových situácií.

Polárne satelity

Polárne satelity zohrávajú kľúčovú úlohu pri monitorovaní atmosféry a počasia, čo je zásadné pre získavanie meteorologických údajov. Vďaka svojej špecifickej obežnej dráhe – polárnemu orbitu, ktorý ich vedie takmer kolmo na rovník – majú tieto satelity možnosť systematicky pokrývať celý zemský povrch v priebehu necelých 12 hodín. Táto konfigurácia im umožňuje pravidelne preletieť nad rôznymi oblasťami, čo zabezpečuje častú aktualizáciu dát a poskytuje aktuálny obraz o dynamike atmosféry, čo je nevyhnutné pre správne vyhodnocovanie operačných situácií.



Obrázok 1 Polárny orbit

Zdroj: www.esa.int/applications/observing_the_earth/meteorological_missions/metop/history

Meteorologické polárne satelity sú vybavené rozsiahlym spektrom senzorických systémov – optickými, infračervenými aj mikrovlnnými – ktoré monitorujú kľúčové parametre ako teplotu, vlhkosť, zrážky, tvorbu oblakov a ďalšie meteorologické javy. Tieto dátové zdroje sú rozhodujúce nielen z hľadiska civilného zabezpečenia predpovedí počasia, ale zohrávajú aj strategickú úlohu v oblasti vojenského spravodajstva. V prípade degradácie primárnych spravodajských systémov môžu informácie získané z polárnych satelitov fungovať ako robustný záložný zdroj, zabezpečujúci operačnú kontinuitu.

Ďalším významným prínosom polárnych satelitov je ich otvorený prístup k dátam. Meteorologické družice, vrátane série NOAA a Meteor, poskytujú verejnosti neobmedzený prístup k aktuálnym informáciám. Tieto údaje, dostupné prostredníctvom rádiového signálu,

predstavujú základ pre OSINT analýzu, ktorá je kľúčová pri podpore operačných rozhodnutí a plánovaní vojenských operácií v kritických situáciách.

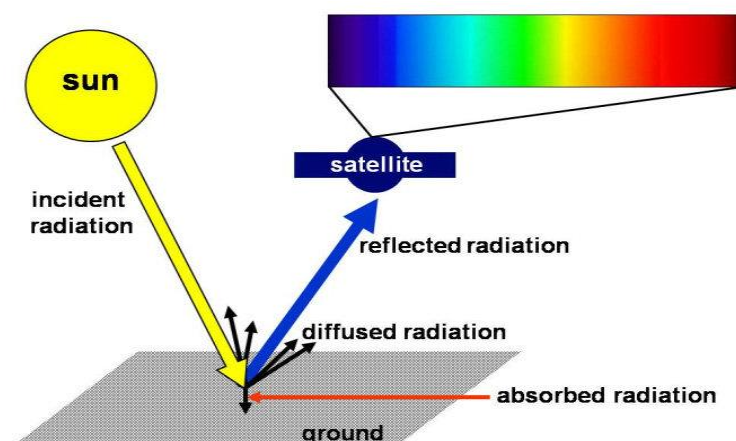
Celkovo polárne satelity predstavujú neoceniteľný nástroj v kontexte OSINT a vojenského spravodajstva, keďže zabezpečujú globálne a aktuálne monitorovanie atmosférických premien. Ich schopnosť pravidelného preletu nad celým zemským povrchom a dostupnosť voľne získateľných dát vytvárajú stabilný základ pre experimentálne a praktické aplikácie, ktoré môžu doplniť tradičné spravodajské zdroje v obdobiach systémových zlyhaní.

Metodológia získavania údajov

Získavanie údajov zo satelitov prebieha prostredníctvom senzorov na palube družíc, ktoré zaznamenávajú rôzne druhy elektromagnetického žiarenia, fyzikálnych vlastností či rádiových signálov.

V praxi delíme snímače na dve hlavné kategórie, v závislosti od ich spôsobu zaznamenávania údajov:

- Aktívne senzory – zariadenia fungujúce na princípe radarov – vysielajú signál a podľa charakteristiky odrazeného signálu merajú rozličné hodnoty daných fyzikálnych veličín.
- Pasívne senzory – zaznamenávajú svetlo alebo signál vyžiarený priamo skúmanými objektmi alebo nimi odrazené žiarenie pochádzajúce zo Slnka.



Obrázok 2 Zjednodušená vizualizácia snímania odrazeného svetla senzormi na palube satelitov

Zdroj: www.researchgate.net/figure/scheme-of-the-remote-sensing-principle-a-fraction-of-sunlight-reflected-or-scattered-by_fig1_275722912

Údaje zo satelitných senzorov sú prenášané na Zem a ďalej spracovávané. Tento proces je zložený z niekoľkých krokov:

1. Odosielanie údajov – Satelity prenášajú namerané hodnoty prostredníctvom rádiových signálov do pozemných prijímacích staníc, ktoré sú rozmiestnené po celom svete.
2. Dekódovanie a spracovanie – Po prijatí signálu sú údaje dekodované, filtrovaním a korekciou sú odstránené chyby a spracované pomocou pokročilých algoritmov.
3. Ukladanie a distribúcia – Spracované dáta sú uložené do databáz a distribuované rôznym inštitúciám, ako sú meteorologické centrá, výskumné ústavy alebo vládne organizácie.

4. Analýza a interpretácia – Špecialisti v danej oblasti, pomocou štatistických modelov a vizualizačných nástrojov vyhodnocujú údaje, podporujúce rozhodovací proces.

Vysielanie zaznamenaných údajov na Zem

Zozbierané dáta z družíc je potreba vyslať späť na Zem za účelom analýzy, interpretácie a ich aplikácie v jednotlivých sektoroch. Existuje viacero spôsobov, akým je uskutočňovaný prenos dát zo satelitov:

1. Priame vysielanie (po ang. Direct Broadcast – DB) – satelity vysielajú namerané dáta prakticky okamžite po nasnímaní. Výhodou je fakt, že údaje zo satelitu o danej geografickej lokalite sú za normálnych okolností dostupné priamo v čase a mieste merania. Družica teda vysiela nepretržite.
2. Prenos nahromadených údajov (po ang. Dump) – družica počas orbitu vykonáva merania a dočasne ukladá dáta na palube, pričom pri prvom možnom kontakte s jednou z pozemných staníc vykoná prenos zozbieraných údajov. Po prelete satelit prestane vysielať, ďalší prenos je uskutočnený až vtedy, keď bude v dosahu nasledujúcej stanice.
3. Retranslácia (po ang. Relay) – Niektoré satelity využívajú tzv. retranslačné satelity na nepretržitý prenos údajov aj vtedy, keď nie sú v dosahu pozemnej stanice, pričom sú zvyčajne využité jeden alebo viacero geostacionárnych satelitov. (Např. Systém TDRSS – Tracking and Data Relay Satellites System, pod správou NASA).

2. METODOLÓGIA A EXPERIMENTÁLNY DIZAJN

Technológia SDR

SDR – Software Defined Radio predstavuje moderný prístup k rádiovkej komunikácii, kde je spracovanie signálu realizované digitálne, pomocou počítača. Na rozdiel od klasických prijímačov, ktoré využívajú hardvérové komponenty na demoduláciu a filtráciu signálu, SDR minimalizuje potrebu špecializovaného hardvéru. Signál je po zachytení anténou okamžite prevedený do digitálnej podoby pomocou vysokorychlostného ADC (Analog-to-Digital Converter) prevodníka, pričom všetky ďalšie úpravy sú vykonávané softvérovo. Takéto riešenie umožňuje výraznú flexibilitu, keďže nové funkcie alebo vylepšenia je možné implementovať jednoduchou aktualizáciou softvéru bez fyzických zásahov do zariadenia. SDR systémy sú najčastejšie pripojené k počítaču cez USB rozhranie a umožňujú využitie širokému spektru aplikácií – od amatérskeho rádiového príjmu až po profesionálne telekomunikačné riešenia. Existuje veľká škála modelov SDR od rozličných spoločností, pričom ich cenová dostupnosť je v rozmedzí desiatok až stoviek eur. (Laufer, 2018)

RTL-SDR

RTL-SDR je jedným z najpoužívanejších softvérových prijímačov, vo forme USB kľúča s prípojkou na anténu (koaxiálny kábel). Existuje vo viacerých konfiguráciách, štandardne je vyrobený pre frekvenčný rozsah od 500 kHz do 1,75 GHz. Najväčšou výhodou prijímača RTL-

SDR je fakt, že väčšina softvéru je tzv. open-source – vytvorená komunitou užívateľov – a teda je aj verejne dostupná. (online: www.rtl-sdr.com)

Airspy

Airspy je renomovaný výrobca SDR rádií, ktoré sú určené pre profesionálov aj rádioamatérov. Ich produkty vynikajú vysokou citlivosťou, širokým frekvenčným rozsahom a nízkym šumom, čo ich robí ideálnymi pre rôzne aplikácie – od príjmu leteckých a námorných signálov až po rádiovú astronómiu a experimentálnu digitálnu komunikáciu. Taktiež, ako pri vyššie spomínaných RTL-SDR prijímačoch, existuje viacero modelov, od základných, určených na príjem signálov (Airspy Mini), až po špecializované a pokročilé modely, schopné prijímať aj vysielateľ (Airspy HF+).

SDRplay

SDRplay je ďalší z popredných výrobcov softvérových rádií, známy svojimi vysokovýkonnými prijímačmi so širokým frekvenčným rozsahom, kvalitným spektrálnym výkonom a vynikajúcou citlivosťou. Ich zariadenia dokážu prijímať aj nízkofrekvenčné pásma (od 1 kHz) a majú v sebe zabudované filtre a nízkošumové zosilňovače, vďaka ktorým majú zvýšenú citlivosť. Na rozdiel od zariadení ako RTL-SDR, SDRplay nie sú kompletne „open-source“ a na ich ovládanie je potreba použiť špecifické (closed-source) softvérové ovládače priamo od výrobcu. Avšak, ovládače sú kompatibilné s väčšinou najpoužívanejších softvérov, čo umožňuje plné a flexibilné využívanie týchto zariadení. (online: www.srdplay.com)

Konfigurácia experimentálneho systému

Tento experimentálny systém bol navrhnutý s cieľom využívať dostupné satelitné signály na zber a analýzu environmentálnych a meteorologických dát v provizórnych podmienkach bez potreby nákladného vybavenia. Využíva satelity, ktoré vysielajú dáta v pásme VKV, pomocou dostupných kódovaní, ako napríklad APT (Automatic Picture Transmission) a LRPT (Low Rate Picture Transmission). Tento prístup je ideálny pre voľne prístupné zdroje údajov, kde sú verejne dostupné údaje kľúčové a môžu byť použité na získanie dôležitých informácií o počasi, klimatických podmienkach alebo environmentálnych zmenách v reálnom čase.

NOAA POES

Satelity NOAA POES (Polar Operational Environmental Satellites) sú dôležitou súčasťou globálneho systému monitorovania Zeme. Sú spravované agentúrami NOAA a NASA. Ich hlavnou úlohou je poskytovať presné údaje o atmosfére, oceánoch a povrchu Zeme, čo pomáha meteorológom predpovedať počasie, monitorovať klimatické zmeny a sledovať prírodné katastrofy. Program NOAA POES začal v 60. rokoch 20. storočia a bol jedným z najspoľahlivejších systémov diaľkového prieskumu Zeme. Aj keď POES satelity stále fungujú (napr. NOAA-15 a NOAA-19), ich funkcie preberajú nové satelity série JPSS (Joint Polar Satellite

System), ktoré disponujú vyšším rozlíšením, rýchlejšim prenosom dát a väčšou presnosťou meraní.



Obrázok 3 NOAA 15

Zdroj: www.nesdis.noaa.gov/our-satellites/related-information/history-of-noaa-satellites

Jednou z významných vlastností satelitov NOAA POES je možnosť priameho príjmu údajov pomocou technológií, ktoré sú dostupné aj amatérskym pozorovateľom. Satelity tejto série vysielajú dáta v reálnom čase prostredníctvom systémov APT a DSB, čo umožňuje prijímať meteorologické snímky aj pomocou relatívne jednoduchého vybavenia.

APT – Automatic Picture Transmission

APT je analógový prenosový systém, ktorý umožňuje priamy príjem snímok s nižším rozlíšením z NOAA satelitov v reálnom čase. Funguje v pásme 137 MHz a jeho výhodou je jednoduchosť – snímky je možné prijímať pomocou základného vybavenia. Vysielanie je momentálne aktívne na družiciach NOAA 15, NOAA 18 a NOAA 19. Cez prenos APT sú prenášané dva obrazové kanály, ktoré predstavujú 8-bitové snímky s rozlíšením približne 4 km na pixel. Tieto snímky pochádzajú z dvoch vybraných kanálov senzora AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). Pred samotným vysielaním sú upravené tak, aby mali takmer konštantné geometrické rozlíšenie, čo znamená, že sú zbavené skreslenia spôsobeného zakrivením Zeme. (Lillesand, 2015)

Prvý kanál (Video A) je infračervený v oblasti dlhých vln ($10,8\ \mu\text{m}$), čo umožňuje sledovať teplotu povrchu a oblačnosti aj v noci. Druhý kanál (Video B) prepína spektrum podľa denného osvetlenia, počas dňa ide o blízke viditeľné spektrum ($0,86\ \mu\text{m}$) a počas noci vysielá stredné infračervené spektrum ($3,75\ \mu\text{m}$). Toto prepínanie zabezpečuje optimálny kontrast a využitie dostupného svetla pre rôzne časti dňa. NOAA však môže kedykoľvek nakonfigurovať satelit tak, aby vysielal ľubovoľnú dvojicu z dostupných kanálov AVHRR, podľa aktuálnych potrieb misie alebo špecifických monitorovacích cieľov.

Samotný signál je prenášaný ako amplitúdovo modulovaný zvuk s 256 úrovňami (8-bit), ktorého frekvencia je 2400 Hz. Tento zvuk je následne frekvenčne modulovaný (FM) na

hlavný nosný signál v pásme 137 MHz, ktorý je vysielaný zo satelitu smerom k Zemi. Výkon palubného vysielacza je približne 5 W.

DSB – Direct Sounder Broadcast

DSB je doplnkový telemetrický prenosový kanál, ktorý je vysielaný spolu so signálom APT z NOAA POES. Kým APT poskytuje obrazové dáta, DSB prenáša vedecké a diagnostické údaje priamo z palubných systémov a prístrojov satelitu. Tieto dáta sú spracované a odosielané prostredníctvom systému TIROS Information Processor (TIP). DSB prenáša údaje z týchto palubných systémov:

- HIRS/3 a HIRS/4 (High-resolution Infrared Radiation Sounder) – Infračervený rádiometer s vysokým rozlíšením, používaný na tvorbu multispektrálnych snímok Zeme. Umožňuje zisťovať vertikálne rozloženie teploty a vlhkosti v atmosfére.
- SEM-2 (Space Environment Monitor) – Meria vplyv slnečného žiarenia a nabitých častíc na komunikáciu a elektroniku satelitov. Obsahuje:
 - o MEPED – detektor protónov a elektrónov strednej energie
 - o TED – detektor celkovej energie
- DCS/2 – Experimentálny dátový retransmitter – Zbiera a retransmituje údaje z rôznych zdrojov na Zemi, napr.: bójy (401.65 MHz), sledovače polárnych líšok, senzory na ľadovcoch, meteorologické balóny a pod.
- ARGOS – Advanced Data Collection System (ADCS) – Využívaný na celosvetové sledovanie GPS obojkov pre výskum živočíchov, ako aj pri ekologickom a meteorologickom monitoringu.

Telemetrický signál DSB používa PSK moduláciu (Phase Shift Keying) a je prenášaný vo forme dvojpásmovej modulácie (DSB – Dual Side Band). Signál je lineárne polarizovaný, šírka celého signálu je približne 33,5 kHz a efektívne vyžarovaný výkon je približne 0,5 W.

Meteor M

Séria satelitov Meteor-M predstavuje modernú generáciu ruských polárnych meteorologických satelitov, spravovaných agentúrou ROSCOSMOS, ktoré poskytujú kľúčové údaje pre predpovede počasia, klimatický výskum a environmentálne monitorovanie. Tieto satelity sú nástupcami starších typov Meteor zo sovietskej éry a boli vyvinuté s cieľom modernizovať vesmírnu hydrometeorologickú infraštruktúru Ruskej federácie. Prvý satelit série, Meteor-M1, bol vypustený v roku 2009 a odvtedy nasledovali ďalšie (M2, M2-2, M2-3, M2-4).



Obrázok 4 METEOR M2

Zdroj: www.sdr-radio.livejournal.com/355.html

LRPT – Low Rate Picture Transmission

LRPT je digitálny prenosový systém určený na priamy prenos satelitných snímok a údajov z obežnej dráhy k používateľom na Zemi prostredníctvom VHF rádiového signálu. Na rozdiel od analógového APT, LRPT prenáša vyššiu kvalitu obrazu, spoľahlivejší prenos dát a využíva digitálnu korekciu chýb a nepresností. Systém bol používaný na satelitoch ako MetOp-A (kde bol neskôr deaktivovaný kvôli rušeniu s prístrojom HIRS), bol plánovaný pre NOAA POES (neskôr nahradený JPSS), a v súčasnosti ho využívajú satelity série METEOR-M (konkrétne Meteor M2-3 a M2-4).

- Modulácia: QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)
- Symbolová rýchlosť: 72 k Bd (72 000 symbolov za sekundu)
- Dátový tok: 144 kbps (raw dátová rýchlosť)
- Šírka pásma: približne 120 kHz

LRPT prenáša dáta z MSU-MR rádiometra, ktorý disponuje šiestimi spektrálnymi kanálmi. Do dátového toku LRPT môžu byť zaradené ľubovoľné tri z týchto kanálov – výber je na strane satelitu (resp. jeho operátorov). Tento systém poskytuje farebné multispektrálne snímky s vyššou kvalitou (1 km na pixel) – každá snímka je digitálne komprimovaná a synchronizovaná, čo umožňuje ich presné spájanie a interpretáciu.

Prijímač

Na príjem satelitných snímok bol použitý SDR prijímač RSP1A od SDRplay. Ide o širokopásmový 14-bitový softvérovo definovaný rádiový prijímač (SDR), ktorý pokrýva frekvenčné spektrum od 1 kHz do 2 GHz bez medzier. V kombinácii s dostupným SDR softvérom, ako je SDRuno alebo SDR++, umožňuje monitorovať spektrum v šírke až 10 MHz naraz. Disponuje zabudovaným nízkošumovým zosilňovačom (LNA – Low Noise Amplifier), vstavanými filtermi a priepustkami (pozri obrázok č. 5), čo výrazne zvyšuje kvalitu prijatého signálu a vysoko stabilným oscilátorom (0,5 ppm).

General • Weight 110g • Size: 98mm x 88mm x 34mm (case only) • Low Current: 185 mA (excl bias T) Connectivity • Single 50Ω RF connector (SMA socket)* • USB 2.0 (high speed) type B socket Frequency Range • Continuous coverage 1kHz – 2GHz ADC Characteristics • Sample frequency 2 – 10.66MSPS • 14 bit native ADC (2 – 6.048MSPS) • 12-bit (6.048- 8.064 MSPS) • 10-bit (8.064- 9.216MSPS) • 8-bit (> 9.216 MSPS) Bias T • Software Selectable 4.7V @ 100mA Reference • High Temperature Stability (0.5ppm) TCXO • In-field trimmable to 0.01ppm. Maximum recommended input power • 0dBm continuous, 10dBm for short periods	Typical Noise Figures • 35dB @ 300kHz • 18dB @ 2MHz • 23dB @ 4MHz • 15dB @ 12MHz • 15dB @ 25MHz • 15dB @ 40MHz • 16dB @ 55MHz • 3.3dB @ 100MHz • 3.3dB @ 200MHz • 9.0dB @ 275MHz • 7.7dB @ 386MHz • 3.6dB @ 660MHz • 5.0dB @ 1500MHz IF Modes • Zero IF, All IF bandwidths • Low IF, IF bandwidths ≤ 1.536MHz IF Bandwidths (3dB) • 200kHz • 300kHz • 600kHz • 1.536MHz • 5.0MHz • 6.0MHz • 7.0MHz • 8.0MHz	Front End Filtering Automatically configured front end filtering: Low Pass • 2MHz Band Pass • 2-12MHz • 12-30MHz • 30-60MHz • 60-120MHz • 120-250MHz • 250-300MHz • 300-380MHz • 380-420MHz • 420-1000MHz High Pass • 1000MHz Notch Filters • FM Filter: >50dB 85 – 100MHz • MW Filter: >30dB 660 – 1550kHz • DAB Filter: >30dB 165 – 230MHz
---	--	---

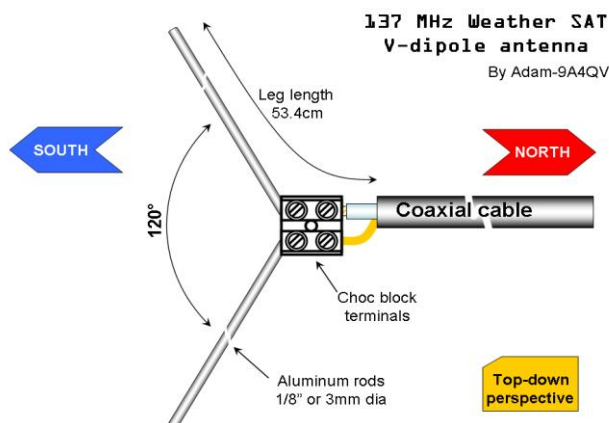
Obrázok č. 5 Technické parametre softvérového prijímača RSP1A

Zdroj: www.sdrplay.com/docs/rsp1adatasheetv1.9.pdf

Anténa

Príjem analógového signálu APT (Automatic Picture Transmission) zo satelitov NOAA a LRPT (Low Rate Picture Transmission) zo satelitov Meteor vyžaduje vhodnú anténu, ktorá zabezpečí dostatočný zisk a stabilitu príjmu v pásme 137 MHz. Pri výbere vhodnej antény je dôležité zohľadniť faktory ako polarizáciu, smerovosť a účinnosť prijímacej plochy. Vzhľadom na pásmo v ktorom tieto satelity vysielajú, je pomerne ľahké zachytiť signál aj s obyčajnou ručnou vysielačkou, avšak pre kvalitný príjem a správne dekódovanie je potrebné použitie antény optimalizovanej konkrétne na príjem polárnych satelitov v pásme VKV. Taktiež je potreba mať na mysli kruhovú polarizáciu rádiových vln zo satelitov. V tejto štúdii boli použité dva typy antén, ktorých efektívnosť bola následne porovnávaná:

1. **V-dipól anténa** – Je dipólová anténa, ktorej dva vodiče sú, na rozdiel od štandardného dipólu (180°) navzájom umiestnené pod uhlom 120°, čo zaručuje ich teoretickú všesmerovosť (pozri obrázok č.5). Anténa nie je konštruovaná na kruhovú polarizáciu, čo v konečnom dôsledku predstavuje miernu stratu signálu, ale je horizontálne orientovaná, čo umožňuje odfiltrovať väčšinu rozhlasového FM vysielania, ktorá by inak predstavovala značné rušenie, vzhľadom na ich blízku frekvenciu (87-108 MHz). Jednou z výhod tejto antény je schopnosť lepšie prijať časť údajov zo satelitov NOAA, ktoré sú vysielané lineárnou polarizáciou (NOAA DSB – Direct Sounder Broadcast).

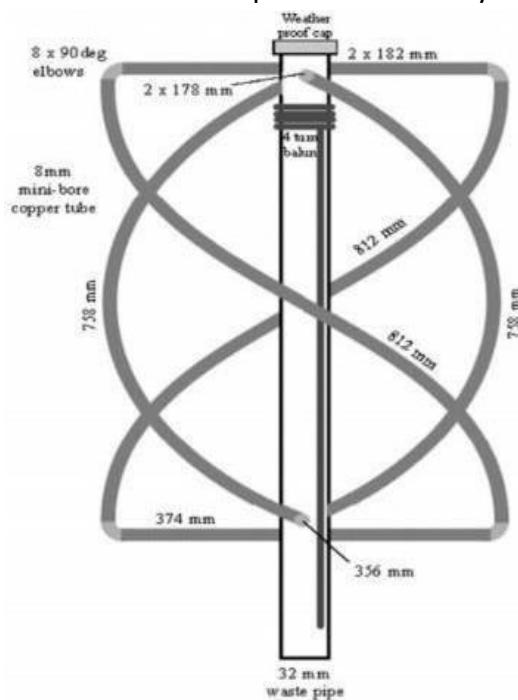


Obrázok 6 Schéma V-DIPOL antény

Zdroj: www.rtl-sdr.com/simple-noaameteor-weather-satellite-antenna-137-mhz-v-dipole

2. **QFH – Quadrifilar Helix** - Táto anténa je široko využívaná pre svoju schopnosť prijímať signály s kruhovou polarizáciou, ktorá zodpovedá polarizácii vysielanej satelitmi NOAA. QFH anténa poskytuje dobré pokrytie v širokom uhle a minimalizuje straty spôsobené zmenou orientácie satelitu. Jej konštrukcia pozostáva zo štyroch vodičov vinutých do špirálového tvaru (pozri obrázok č.6), pričom sú navrhnuté tak, aby zabezpečili homogénny príjem signálu bez výrazných poklesov intenzity. Hlavné výhody QFH antény zahŕňajú:

- Vysokú odolnosť voči zmene smeru signálu,
- Možnosť príjmu signálu vo všetkých uhloch bez nutnosti rotácie antény,
- Relatívne jednoduchú stavbu a dostupnosť konštrukčných návodov pre vlastnú výrobu.



Obrázok 7 Schéma a rozmery QFH antény

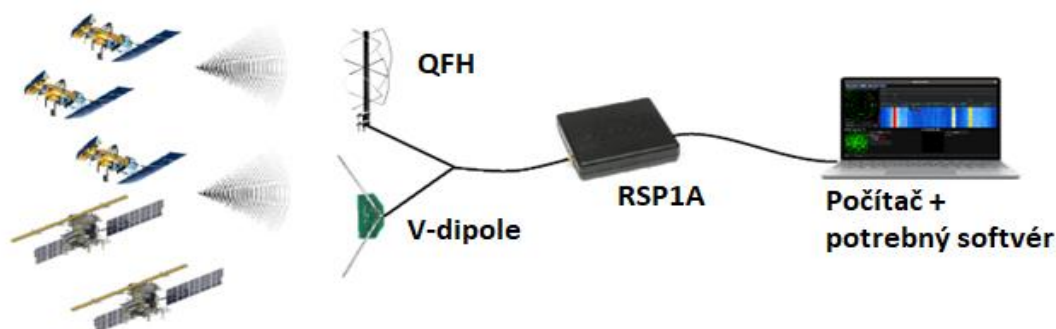
Zdroj: www.researchgate.net/figure/schematic-of-the-qfh-antenna-10_fig5_342199345

Softvér

Pre správnu analýzu a dekodovanie signálov z NOAA satelitov sú k dispozícii rôzne softvéry. Dva z najpoužívanejších nástrojov sú Satdump a WXtoIMG, ktoré sú obzvlášť obľúbené medzi amatérskymi rádioamatérmi a meteorologickými nadšencami.

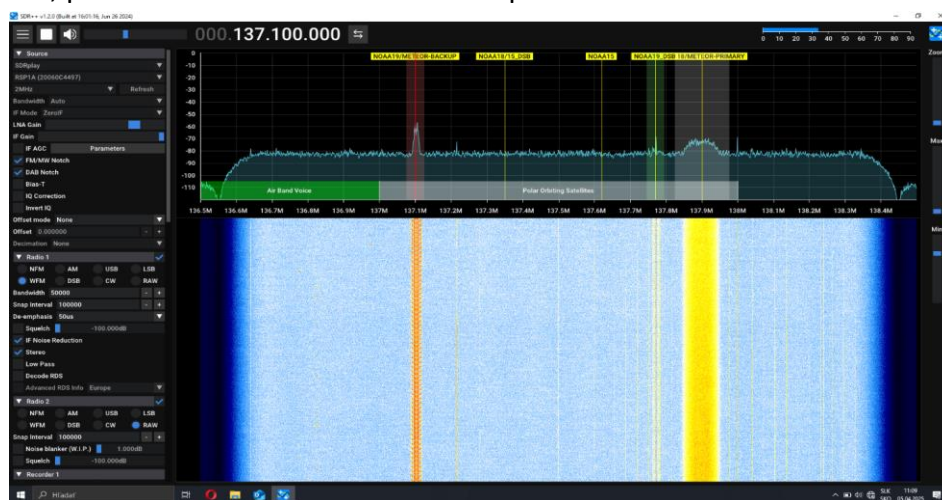
3. EXPERIMENTÁLNE NASTAVENIE A VÝSLEDKY

Príjem záberov z meteorologických satelitov bol realizovaný kombináciou viacerých softvérov, pričom na každý program boli použité obidve antény (V-dipól, QFH) za účelom porovnania efektivity.

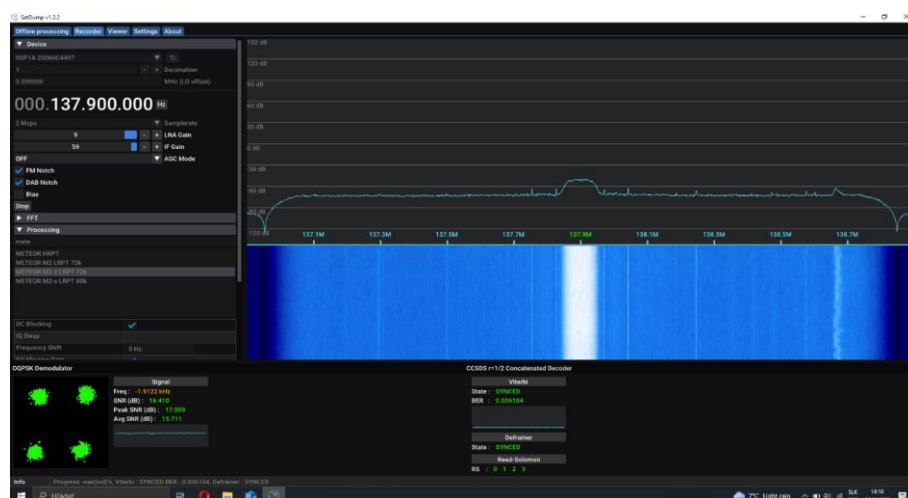


Obrázok 8 Zapojenie zariadení potrebných na príjem snímok
Zdroj: vlastné spracovanie

Na príjem signálu cez softvérové rádio bol použitý softvér SDR++. Stredová frekvencia bola nastavená na 137,500 MHz a rozsah pásma na 2 MHz, čo dovolilo pokrytie celého pásma pre polárne družice. V prípade satelitov Meteor-M bol signál prijímaný a dekodovaný v reálnom čase, prostredníctvom softvéru SatDump.



Obrázok 9 Softvér SDR++, zachytávajúci tri dátové toky naraz,
zľava NOAA 19 (apt), NOAA 19 (dsb), METEOR M2-3 (lrpt)
Zdroj: vlastné spracovanie



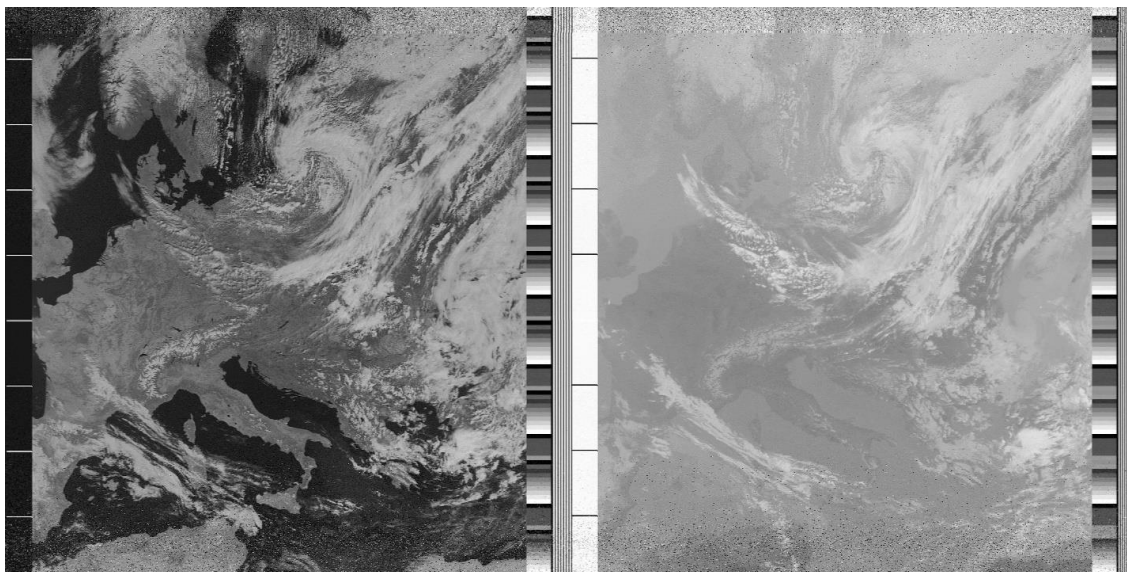
Obrázok 10 SATDUMP, dekódovanie LRPT z družice METEOR M2-4
Zdroj: vlastné spracovanie

V prípade satelitov NOAA (APT) boli vysielania nahraté vo formáte zvukového záznamu (formát WAV), následne prevzorkované v programe Audacity na vzorkovaciu frekvenciu 11025 Hz (podmienka softvéru WXtoIMG) a následne pomocou WXtoIMG dekódované do podoby snímky Zeme. Pri vysielaní NOAA DSB bola použitá podobná metóda, ale signál bol dekódovaný prostredníctvom softvéru SatDump (Offline processing). Pri družiciach Meteor-M (LRPT) prebiehal príjem a dekódovanie súčasne pomocou softvéru SatDump, takže nebolo potrebné zaznamenávať signál.

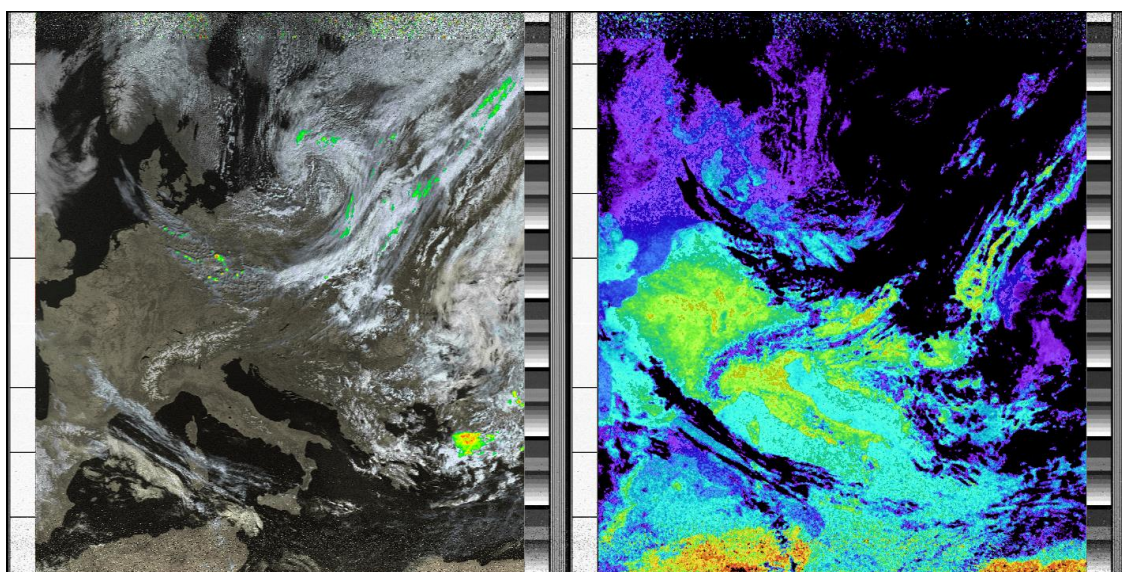
Výsledky

Prvý príjem bol zrealizovaný prostredníctvom V-Dipol antény. Signál z družice NOAA 19 bol zaznamenaný počas vysokého preletu, pričom maximálna elevácia dosiahla 84°. Anténa bola umiestnená na statíve, cca 50 cm nad úrovňou Zeme, orientovaná južným smerom.

Zachytenie signálu (AOS – Acquisition Of Signal) nastalo už pri elevácii 5°, avšak signál nebol dostatočne silný. Použiteľný signál bol zachytený až pri elevácii cca 25°, výpadok signálu (LOS – Loss Of Signal) bol takisto pri 30°. Snímka bola úspešne dekódovaná (pozri obrázok č. 11) a softvér automaticky vygeneroval niekoľko kompozitov (pozri obrázok č. 12).

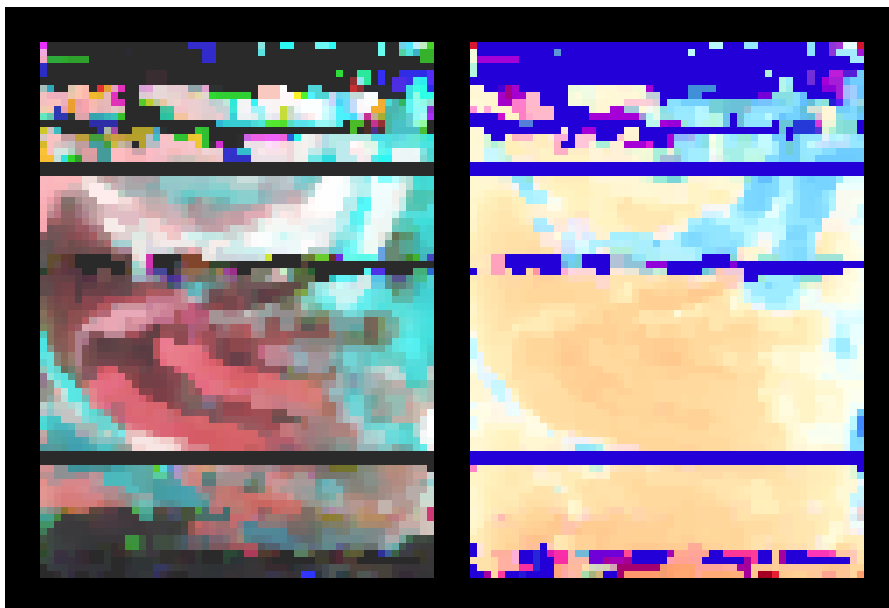


Obrázok 11 Dekódovaná snímka (NOAA 19, WXT0IMG)
Zdroj: vlastné spracovanie



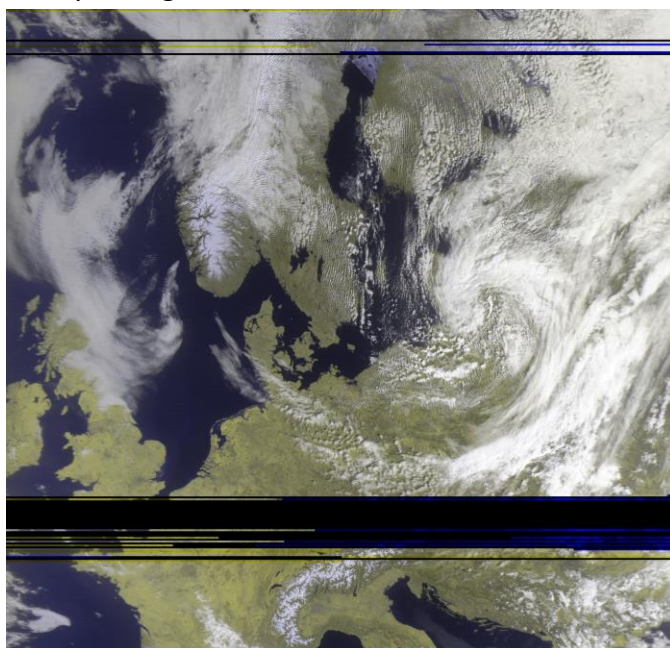
Obrázok 12 Kompozity zo satelitu NOAA19
vľavo: predpoklad zrážok, vpravo: teplota morí na viditeľných miestach
Zdroj: vlastné spracovanie

V prípade údajov zo služby DSB je kvantita dát oveľa vyššia (20 spektrálnych kanálov), avšak kvalita výrazne horšia, jednak kvôli nízkemu rozlíšeniu a takisto aj výrazne nižšiemu výkonu vysielача (0,5 – 1 W).



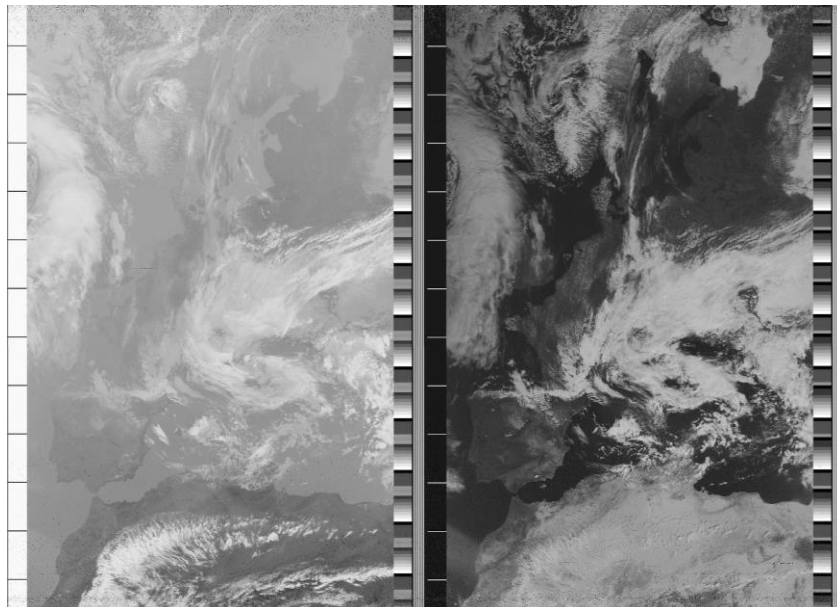
Obrázok 13 Kompozity z prístroja AVHRR
vľavo: kanály 3b45, vpravo: teplota CO₂ a H₂O v dolnej troposfére
Zdroj: vlastné spracovanie

Súbežne s NOAA19 prelietaval aj satelit Meteor M2-3. Pokus o príjem bol z časti úspešný (prostredníctvom rovnakej antény a SDR), ale v polovici preletu sa na obzore objavil v poradí tretí satelit NOAA18, ktorý prerušil vysielanie M2-3, vzhľadom na ich rovnakú vysielaciu frekvenciu (137,900 MHz). Výsledkom bola nedostatočná kvalita obidvoch signálov na danej frekvencii. V danom okamihu boli v dosahu tri satelity, avšak kvôli vzájomnému rušeniu bol plne využiteľný iba signál NOAA19.

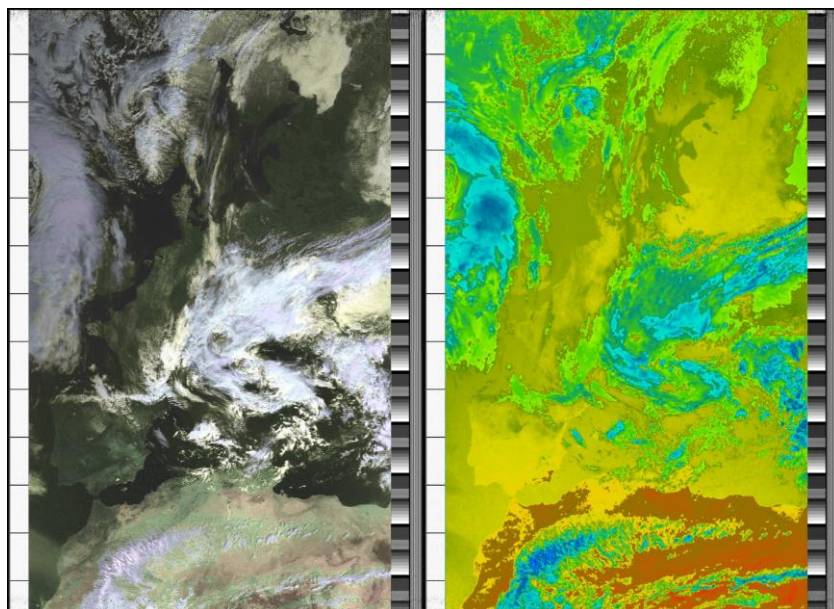


Obrázok 14 Snímka z družice METEOR M2-3, kanály 221
Zdroj: vlastné spracovanie

Nasledujúci príjem bol realizovaný pomocou QFH antény. Zachytávaný satelit bol NOAA 18. AOS nastalo pri elevácii cca 10° a LOS pri 15°. Najvyššia elevácia satelitu bola 57°. Zachytená plocha bola podstatne väčšia oproti predchádzajúcemu príjmu (cca 30 %).

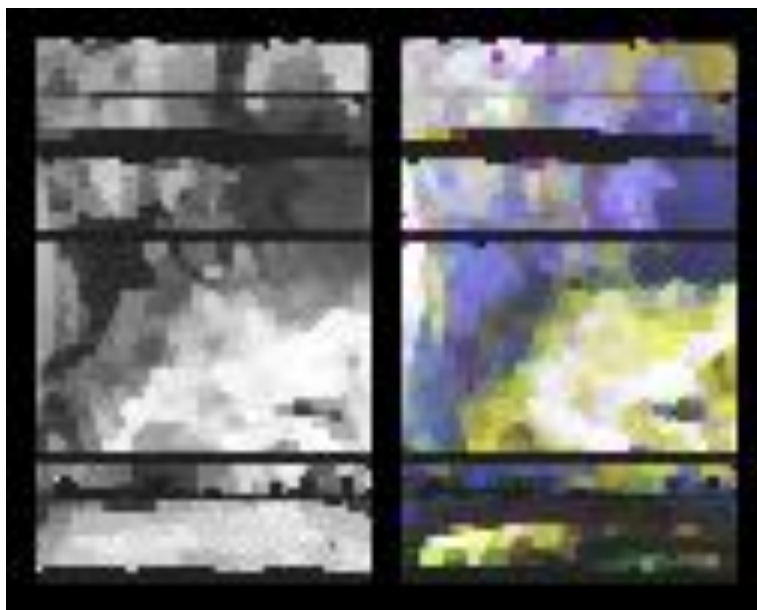


Obrázok 15 Dekódovaná snímka z družice NOAA18
Zdroj: vlastné spracovanie



Obrázok 16 Kompozity zo snímok NOAA18
vpravo: model HVC, vľavo: termovízna snímka
Zdroj: vlastné spracovanie

Signál DSB bol vzhľadom na jeho lineárnu polarizáciu mierne zoslabnutý, ale stabilnejší. Prijaté snímky boli v konečnom dôsledku porovnateľné s predchádzajúcimi snímkami využívajúcimi V-dipól.

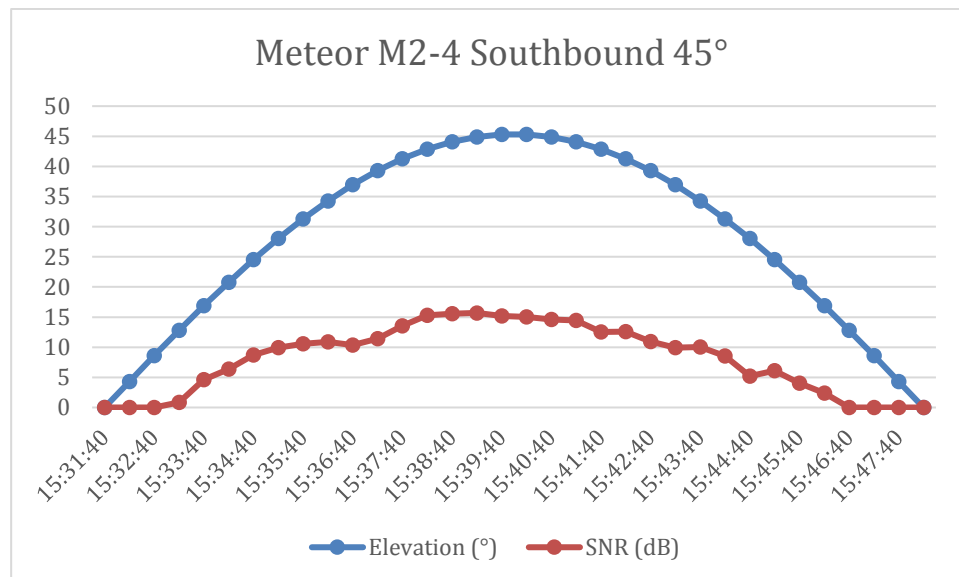


Obrázok 17 Kompozity z prístroja AVHRR
vľavo: viditeľný kanál, vpravo: kanály 543b
Zdroj: vlastné spracovanie

Posledný príjem bol realizovaný prostredníctvom dvoch antén súčasne (QFH – RSP1A, V-dipol – AirspyMini). Pokus o zachytenie signálu satelitu Meteor M2-4 prostredníctvom V-dipol antény bol neúspešný, pravdepodobne pre nedostatočnú eleváciu satelitu (45°), v kombinácii s menej citlivým prijímačom (AirspyMini) neobsahujúcim nízkošumový zosilovač LNA (Low Noise Amplifier). Použitie QFH antény preukázalo schopnosť zachytiť signál už pri nízkych eleváciách (pozri tabuľku a graf č. 1), čo výrazne zvyšuje kvalitu prijatých údajov. Získané údaje (LRPT, pozri obrázok č. 18) majú rozlíšenie 1 km/pixel a zobrazujú zloženie oblačnosti v atmosfére, pričom tyrkysovou farbou sú znázornené ľadové častice.

Time	Elevation (°)	SNR (dB)	Time	Elevation (°)	SNR (dB)
15:31:40	0	0	15:40:10	45,31	15,02111
15:32:10	4,31	0	15:40:40	44,9	14,62808
15:32:40	8,58	0	15:41:10	44,08	14,42391
15:33:10	12,78	0,855906	15:41:40	42,87	12,50889
15:33:40	16,86	4,616011	15:42:10	41,26	12,59379
15:34:10	20,79	6,362157	15:42:40	39,28	10,93446
15:34:40	24,52	8,697703	15:43:10	36,95	9,92626
15:35:10	28,04	9,930552	15:43:40	34,28	10,01802
15:35:40	31,3	10,54848	15:44:10	31,3	8,525828
15:36:10	34,28	10,8702	15:44:40	28,04	5,173837
15:36:40	36,95	10,3299	15:45:10	24,52	6,099117
15:37:10	39,28	11,40426	15:45:40	20,79	4,020674
15:37:40	41,26	13,5585	15:46:10	16,86	2,39281
15:38:10	42,87	15,3009	15:46:40	12,78	0
15:38:40	44,08	15,56854	15:47:10	8,58	0
15:39:10	44,9	15,69018	15:47:40	4,31	0
15:39:40	45,31	15,20862	15:48:10	0	0

Tabuľka 1 Záznam o sile signálu počas preletu družice METEOR M2-4
Zdroj: vlastné spracovanie



Graf 1 Grafické znázornenie elevácie a sily signálu
Zdroj: vlastné spracovanie



Obrázok 18 Snímka z družice METEOR M2-4, kanály 321
Zdroj: vlastné spracovanie

4. DISKUSIA

Analýzou príjmu satelitov NOAA a METEOR na frekvencii 137 MHz bolo potvrdené, že oba testované typy antén – V-dipol a QFH (Quadrifilar Helix Antenna) – sú schopné zabezpečiť spoľahlivý príjem signálu a dekódovanie satelitných snímok. Počas prijímania boli zaznamenané rôzne parametre, vrátane intenzity signálu, kvality výstupných obrázkov a stability príjmu pri rozličných výškových uhloch satelitu.

QFH anténa bola najúčinnnejšia v stacionárnych podmienkach. Vďaka svojej kruhovej polarizácii je schopná lepšie prijímať signály z nízko letiacich satelitov, a to aj pri zmenách orientácie satelitnej antény počas preletu. Poskytovala tiež konzistentne vyšší pomer signálu k šumu (SNR) a menej výpadkov počas celej trajektórie satelitu. Výsledné snímky vykazovali zvýšenú úroveň detailov a nižšiu úroveň šumu, čo poukazuje na vyššiu kvalitu príjmu.

Na druhej strane, V-dipólová anténa, napriek svojej jednoduchšej konštrukcii a nenáročnosti na materiál, dosahovala uspokojivé výsledky čím je vhodná najmä pre mobilné stanice. Jej výhodou je jednoduchá montáž, nízka hmotnosť a možnosť rýchleho rozloženia v rôznych podmienkach, čo ju robí ideálnou pre mobilné nasadenie alebo expedície. Aj keď signál zachytený pomocou V-dipólu nebol vždy rovnako kvalitný ako pri QFH, stále umožňoval prijímať použiteľné dáta a snímky.

Z analýzy vyplýva, že výber antény závisí najmä od účelu a podmienok použitia. Pre stacionárne prijímacie stanice, kde je prioritou kvalita signálu a stabilita príjmu, je vhodnejšou

voľbou QFH anténa. Pre mobilné stanice je V-dipólová anténa praktickejšia kvôli svojej jednoduchosti a flexibilitate.

Záverom možno konštatovať, že obe antény sú vhodné na príjem signálu z meteorologických satelitov na frekvencii 137 MHz, pričom každá z nich má svoje špecifické výhody v závislosti od konkrétneho použitia.

ZÁVER

Integrácia voľne dostupných dát z polárnych meteorologických satelitov môže významne prispieť k zabezpečeniu kontinuity vojenských operácií. Tieto dáta poskytujú presné a aktuálne informácie o atmosférických podmienkach, čo je kľúčové pre plánovanie a realizáciu vojenských misií (Grushka-Cockayne, 2008). Tieto dáta môžu byť užitočné ako:

- **Predpovede počasia a klimatické analýzy:** Satelitné dáta umožňujú presné predpovede počasia, ktoré sú nevyhnutné pre letecké operácie, námorné misie a pozemné manévrovanie.
- **Monitorovanie prírodných katastrof:** Dáta môžu pomôcť identifikovať oblasti postihnuté povodňami, požiarimi alebo inými katastrofami, čo umožňuje efektívne nasadenie vojenských zdrojov na pomoc a obnovu.
- **Navigácia a komunikácia:** Satelitné systémy poskytujú údaje pre navigáciu a komunikáciu, čo je kľúčové pre koordináciu vojenských jednotiek v teréne.
- **Bezpečnostné analýzy:** Dáta môžu byť použité na monitorovanie potenciálnych hrozieb, ako sú zmeny v teréne alebo pohyb nepriateľských jednotiek.
- **Podpora logistických operácií:** Informácie o teréne a počasí môžu optimalizovať logistické trasy a zabezpečiť efektívne zásobovanie.

Okrem jednoduchého prijímania základných produktov zo satelitov možno zvážiť aj využitie systémov na príjem HRPT (High Rate Picture Transmission) údajov v pásmach L, S alebo X. Tieto systémy umožňujú sťahovanie oveľa väčšieho množstva detailných údajov v reálnom čase, vrátane snímok vo vysokom rozlíšení, teplotných profilov či meraní z viacerých spektier, čo výrazne rozširuje spektrum použiteľných informácií.

V krízových situáciách, keď zlyhá hlavná komunikačná infraštruktúra, môžu voľne dostupné dáta z polárnych meteorologických satelitov predstavovať neoceniteľný zdroj informácií na podporu vojenských operácií a riadenie kríz (Lee, 2014, Žentek, 2018), ako napríklad:

- **Alternatívny zdroj údajov:** Polárne meteorologické satelity sú autonómne a na svojej prevádzke nezávislé od miestnej infraštruktúry, čo znamená, že poskytujú spoľahlivé dáta aj pri rozsiahlych výpadkoch.
- **Rýchle získavanie kľúčových informácií:** Satelity umožňujú prístup k aktuálnym údajom o počasí, teplote, vlhkosti, oblačnosti či veterných podmienkach, ktoré sú nevyhnutné pre operácie aj v tých najizolovanejších oblastiach.

- Zabezpečenie logistickej podpory: Tieto údaje pomáhajú efektívne plánovať pohyb jednotiek a zásobovacích trás v náročných podmienkach, minimalizujúc riziko zlyhaní a omeškaní.
- Navigácia a koordinácia v nepriaznivých podmienkach: Satelitné dáta môžu byť využité na navigáciu a bezpečnú koordináciu síl, najmä ak sú tradičné navigačné systémy narušené (Feranc, 2010).
- Monitorovanie a hodnotenie škôd: Obrázky a analýzy z diaľkového prieskumu môžu pomôcť identifikovať oblasti postihnuté katastrofami alebo konfliktom, čo umožňuje rýchle nasadenie zdrojov a prioritizáciu záchranných operácií.
- Podpora humanitárnych misií: V prípadoch, keď je potrebné zabezpečiť humanitárnu pomoc, satelitné dáta môžu pomôcť mapovať oblasti núdze a efektívne plánovať zásahy.

Tento systém je neoddeliteľnou súčasťou strategického riadenia počas kríz, zaisťujúc, že vojenské alebo krízové operácie môžu pokračovať aj v extrémnych podmienkach.

Optimalizácia integrovaného prístupu k meteorologickým údajom vo vojenských spravodajských systémoch prináša nielen výzvy, ale aj možnosti identifikovať viaceré oblasti pre ďalší výskum (ICAO, 2009, 2011), ktoré by mohli viesť k významným zlepšeniam:

1. Pokročilé algoritmy spracovania dát: Vývoj sofistikovaných algoritmov na analýzu a fúziu meteorologických dát z rôznych zdrojov, vrátane satelitov, dronov a pozemných staníc, s cieľom zvýšiť presnosť a rýchlosť spracovania.
2. Strojové učenie a umelá inteligencia: Implementácia AI na predikciu extrémnych poveternostných udalostí a ich dopadu na vojenské operácie. AI môže tiež pomôcť pri identifikácii vzorcov v historických dátach na lepšie plánovanie.
3. Bezpečnosť dát a kybernetická odolnosť: Výskum zameraný na ochranu meteorologických dát pred kybernetickými útokmi a zabezpečenie ich integrity v reálnom čase.
4. Integrácia s existujúcimi systémami: Skúmanie spôsobov, ako efektívne integrovať meteorologické dáta do existujúcich vojenských spravodajských systémov bez narušenia ich funkčnosti.
5. Optimalizácia prenosu dát: Vývoj efektívnych metód na prenos veľkých objemov dát v reálnom čase, najmä v prostrediach s obmedzenou konektivitou.
6. Simulácie a modelovanie: Vytváranie pokročilých simulačných nástrojov na testovanie rôznych scenárov a ich dopadu na vojenské operácie.
7. Vývoj špecializovaných senzorov: Inovácia v oblasti senzorov, ktoré môžu poskytovať presnejšie a špecifickejšie údaje pre vojenské účely.

Tieto prístupy môžu nielen zlepšiť efektívnosť vojenských operácií, ale aj prispieť k účinnejšiemu riešeniu krízových situácií.

Zoznam bibliografických odkazov

European Aviation Safety Agency. Acceptable Means of Compliance and Guidance Material (GM) to Part ATC Requirements for the licensing of air traffic controllers Issue 1, 13 March 2015. Dostupné na: <https://www.easa.europa.eu/document-library/acceptable-means-of-compliance-and-guidance-materials>. 2015.

GRUSHKA-COCKAYNE, Y., DE REYCK, B., & DEGRAEVE, Z. 2008. An integrated decision-making approach for improving European air traffic management. In: Management Science, 2008, 54 (8). p. 1395-1409.

FERANC J. a kol.: SLOVENSKO OČAMI SATELITOV. VEDA, vydavateľstvo SAV, Bratislava 2010, ISBN: 978-80-224-1105-9

ICAO. 2009. Safety Management Manual. Doc 9859 AN/474. Montréal: ICAO, 2009. ISBN 978-92-9231-295-4. 264 p.

ICAO. 2011. Civil/Military Cooperation in Air Traffic Management. Circ 330, AN/189. Montréal: ICAO. Nariadenie EP a Rady (ES) č. 2320/2002, č. 549/2004, č. 300/2008. ISBN 978-92-9231-693-8. 44 p.

LEE, C.A. Human Error In Aviation [online]. [cit. 2014-03-18]. Dostupné na: (<http://nioatgro.pbworks.com/w/file/fetch/46253791/Human%20Error.pdf>).

LILLESAND T., KIEFER R. W., CHIPMAN J.: REMOTE SENSING AND IMAGE INTERPRETATION, 7th Edition, Wiley 2015, ISBN: 978-1-118-34328-9

LAUFER C.: THE HOBBYIST'S GUIDE TO THE RTL-SDR: REALLY CHEAP SOFTWARE DEFINED RADIO, 4th Edition, Creatspace Independent Publishing Platform 2018

RTL-SDR.: Creating an Open Source DMR Transceiver with a LimeSDR Mini. Dostupné na: <https://www.rtl-sdr.com/>

SDR-PLAY: Dostupné na: <https://www.sdrplay.com/>

ŽENTEK, M., NEČAS, P.: European air C2 system national requirements: Case study of the Slovak Republic. In: Incas Bulletin, 2020. ISSN 2066-8201. - ISSN 2247-4528. p. 249-260.

Maximilián KUPEC
Gymnázium J.G.T.
Tajovského 25, Banská Bystrica
+421 948 280 449
maximiliankupec@gmail.com

pplk. Ing. Matúš GREGA, PhD.
Akadémia ozbrojených síl M. R. Štefánika
Demänová 393, 031 01 Liptovský Mikuláš 1
+421 960 422 623
matus.grega@aos.sk