

MERANIE VPLYVU RUŠENIA GNSS PRI PRÍSTROJOVOM PRIBLÍŽENÍ NA RWY 06 LZZI

MEASURING POSSIBLE IMPACT OF GNSS INTERFERENCE ON INSTRUMENT APPROACH ON RWY 06 LZZI

Andrej Novák¹, František Jun², Filip Škultéty³, Alena Novák Sedláčková⁴

Anotace: Článok sa venuje problematike rušenia signálu GNSS, pričom autori vykonali experimentálne meranie na letisku Žilina, kde boli umiestené dva zdroje rušenia signálu GPS L1. Experiment mal potvrdiť resp. vyvrátiť obavy z neustále narastajúceho nežiaduceho rušenia signálov GNSS, predovšetkým v blízkosti diaľnic a rýchlostných ciest, respektíve ostatnej dopravnej infraštruktúry. Rušenie signálu GNSS má veľký vplyv na bezpečnosť leteckej dopravy a predovšetkým v súvislosti s masívnym zavádzaním postupov priblíženia GNSS pre letiská.

Klíčová slova: GNSS, GPS, interferencia, rušenie.

Summary: The article deals with the issue of GNSS signal interference. Authors performed experimental measurements at the Žilina airport, where two sources of GPS L1 signal interference were placed. The goal of the experiment was to confirm or to dispel fears of the increasingly undesirable interference of GNSS signals, particularly near highways and expressways, or other transport infrastructure. GNSS signal interference has a major impact on aviation safety and, in particular, in the context of the massive introduction of GNSS approach procedures for airports.

Key words: GNSS, GPS, interferenc, jamming.

ÚVOD

Satelitné navigačné systémy sa rozvíjajú vo svete už viac ako 55 rokov, kedy bol uvedený do prevádzky prvý satelitný navigačný systém Transit známy aj ako NAVSAT alebo aj NNSS (Navy Navigation Satellite System). Satelitné navigačné systémy prešli počas tejto doby rozsiahlym vývojom, pričom boli zaznamenané významné zmeny týkajúce ich technickej koncepcie, použitia a komerčného rozvoja. Veľká vývojová zmena bola zaznamenaná nie len pri kozmickom segmente, ale hlavne pozemnom používateľskom segmente. Používateľský segment čerpal z vývoja predovšetkým z vojenského vývoja a nárastu informačných

¹ prof. Andrej Novák, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta PEDAS, Katedra leteckej dopravy, Univerzitná 8215/1 010 26 Žilina, Tel.: +421 41 513 3451, Fax: +421 41 513 1517, E-mail: Andrej.Novak@fpedas.uniza.sk

² Ing. František Jun, CSc., Žilinská univerzita v Žiline, LVVC, Univerzitná 8215/1 010 26 Žilina, Tel.: +421 557 21 78, Mob: +421 911 709 701, E-mail: jun@fpedas.uniza.sk

³ Ing. Filip Škultéty, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta PEDAS, Katedra leteckej dopravy, Univerzitná 8215/1 010 26 Žilina, Tel.: +421 41 513 3457, Fax: +421 41 513 1517, E-mail: Filip.Skultety@fpedas.uniza.sk

⁴ Doc. JUDr. Ing. Alena Novák Sedláčková, PhD. Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta PEDAS, Katedra leteckej dopravy, Univerzitná 8215/1 010 26 Žilina, Tel.: +421 41 513 3461, Fax: +421 41 513 1517, E-mail: Alena.Sedlackova@fpedas.uniza.sk

technológií. Pokiaľ prvé satelitné prijímače boli konštrukčne náročné a cenovo nedostupné, počas rokov sa technologicky zmenili na cenovo dostupný systém, ktorý umožňuje komerčnému sektoru nie len určovanie polohy, ale aj časovú synchronizáciu technológií a následných aplikácií a služieb. V súčasnej dobe je prevádzkovaných niekoľko satelitných navigačných systémov, ktoré označujeme súhrnne pojmom GNSS (Global Navigation Satellite System). V súčasnej dobe prevádzkované satelitné navigačné systémy GPS, GLONASS a GALILEO tvoria základ pre určovanie polohy a prevádzku kritickej infraštruktúry a kritických aplikácií potrebných pre civilný sektor (doprava, telekomunikácie, energetika, geodézia a kartografia, bankovníctvo atď.). A ich tri typy rozšírenia, ktoré definuje ICAO nasledovne: systém s palubným rozšírením (Aircraft Based Augmentation Systems (ABAS)), systém s pozemným rozšírením (Ground Based Augmentation System (GBAS)) a systém so satelitným rozšírením (Satellite Based Augmentation Systems (SBAS)) – napríklad EGNOS v Európe, WAAS v USA, GAGAN v Indii, MSAS v Japonsku a SDCM v Rusku (Haljaková, 2017).

Autori článku sa rozhodli preskúmať vplyv rušenia signálu GNSS a jeho vplyv na bezpečnosť leteckej dopravy. Napriek tomu, že množstvo štúdií je venovaných tejto problematike len okrajovo sú uvádzané riziká spojené s náhodným alebo zámerným rušením signálu GNSS. V súčasnej dobe je masívne využívaná technológia GNSS, v rôznych oblastiach či už za účelom lokalizácie, zdroja presného času, v telekomunikáciách, respektíve v inteligentných dopravných systémoch. Rušenie signálu GNSS môže spôsobiť vážne škody, resp. ohroziť životy ľudí. Napriek neustálemu vývoju technológií a rozvoju služieb GNSS, nie je možné vylúčiť jeho zlyhanie. Pri meraní a identifikácii rušenia GNSS je potrebné sústrediť sa na problém, ktorý vzniká pri lokalizácii rušenia a eliminácii jeho vplyvu počas letu. Autori sa rozhodli vykonať experiment na letisku Žilina a identifikovať potenciálne riziká pre prevádzku. Na začiatku je potrebná identifikácia a definovanie jednotlivých typov rušenia a ich klasifikácií s ohľadom na ich charakter. Následne je nutné stanoviť scenár a definovať metodicky postup merania ako aj identifikovať potrebné technické vybavenie pre úspešné splnenie úlohy identifikácie a meranie zdroja rušenia signálu GNSS.

1. PREHĽAD SPÔSOBOV RUŠENIA SIGNÁLU GNSS

Problematika rušenia signálu GNSS, bola rozpracovaná viacerými autormi publikácií, pričom rušenie signálu GNSS je nežiaduce nie len v oblasti leteckej dopravy pri určovaní polohy v reálnom čase, ale aj pri inteligentných dopravných systémoch a v oblasti telematiky. Tejto problematike sa obširnejšie venujú aj autori (8), (9), (10). Neverejné signály GNSS sú obvykle šifrované, takže sú relatívne odolné voči interferencii, jammingu a spoofingu. Avšak vo verejne dostupných službách označovaných ako „open service“ (OS) je signál kódovaný verejným kódom a je tu priama možnosť jeho rušenia. Neskôr v článku sú skúmané a definované možnosti ovplyvňovania príjmu tohto signálu GNSS. Vzhľadom na skutočnosť, že signál zo satelitu má na povrchu zeme veľmi malú intenzitu signálu rádovo -120 až -130 dBm sa javí ako najjednoduchší útok na signál GNSS generovaná interferencia alebo jamming. V prípade použitia meaconingu alebo spoofingu, je takýto typ útoku oveľa náročnejší. Tento typ rušenia si vyžaduje pomerne dobré technické zabezpečenie, ktorého zaobstaranie je pomerne finančne náročné. Meaconing, vysielanie falošného signálu so zámerom naviesť cieľ do inej

oblasti, si vyžaduje sofistikované know-how ale aj technické vybavenie zodpovedajúce rádovo desiatkam tisíc eur (antény systém, generátor GNSS signálu, radar respektívne lidar alebo kamerový systém na zisťovanie polohy rušeného cieľa). (1)

Rušenie signálu GNSS, môžeme rozdeliť do dvoch kategórií. Prvú kategóriu tvoria rušenia, ktoré nie sú zámerné a vznikajú od rôznych elektrických zariadení, pracujúcich na harmonických frekvenciách blízkyh k systémom GNSS. Či už sú to rôzne rádioreléové spoje, televízne vysielacie, radary, ale aj poškodené bazové stanice mobilných operátorov (BTS). Druhú skupinu tvorí rušenie resp. jamming spôsobené zámerným rušením frekvenčného spektra signálov GNSS. Tu ide buď o zámerné koordinované útoky alebo ľudí využívajúcich osobné rušičky rádiového spektra označované aj ako PPD (Personal Privac Device). Ako typický prípad rušenia je možné použiť príklad rušenie signálu GNSS na letisku Newar v New Jersey v roku 2009, kde bol novo inštalovaný systém GBAS. (2) Tento systém vykazoval v logoch krátkodobé výpadky integrity systému, spôsobené prerušovaním signálu GNSS. Po dvoch mesiacoch vyšetrovania zo strany FAA bolo identifikované rušenie, ktoré bolo spôsobené prechádzajúcim vozidlom s vodičom, ktorý používal voľne dostupné PPD. Počas incidentu nedošlo k žiadnym škodám na majetku a životoch, avšak tento prípad ukázal ako jednoducho je možné rušiť tak sofistikovaný systém GBAS, pokiaľ je postavený na príjme jedného signálu GNSS (GPS).(3)

Samotné rušenie môžeme definovať na základe nasledujúcich charakteristík:

- Podľa typu (interferencie sínusovou vlnou, nosná vlna – jeden tón, resp. AM, FM, PM modulovanými signálmi, ktoré rušia signál vo väčšom spektre, resp. šumom – náhodne generovaným signálom (biely resp. ružový šum)).
- Podľa strednej frekvencie rušenia relatívne k nášmu signálu sa samotná interferencia nachádza, teda môžeme hovoriť o rušení „out of band“, „near the band“ alebo „in band“.
- Šírka pásma rušenia signálu, kde môžu byť interferencie signálu rozdelené do dvoch podskupín rušenia širokopásmového alebo úzkopásmového.
- Výkon rušenia, pričom v tomto prípade ide o vyjadrenie pomeru signálu nosnej k rušiacemu signálu (interferencii) resp. pomer Jammer to signal J/S.
- Časová oblasť rušenia, pričom interferencia môže byť vysielaná kontinuálne alebo diskkrétne v časových intervaloch resp. pulzoch. V prípade pulznej interferencie môže byť charakterizovaná šírkou impulzu alebo počtom impulzov za sekundu.

Vzhľadom na skutočnosť, že elektromagnetické spektrum je obmedzené, musí byť jeho vysielanie regulované. Reguláciou spektra sa zaoberá International Telecommunication Union (ITU), pričom vysielanie frekvencií GNSS je v oblasti RNSS frekvenčné pásma 1164 až 1215 MHz, 1240 až 1330 MHz a 5010 až 5030 MHz.(4)

2. METODIKA MERANIA RUŠENIA SIGNÁLU

Metodika merania rušenia signálu použitá pri experimente vychádza z merania parametrov, ktoré ovplyvňujú vo výsledku výpočet polohy. Preto je potrebné identifikovať rušiaci signál a jeho vplyv na GNSS signál. Tu je potrebné si uvedomiť skutočnosť, že odolnosť signálov GNSS je rozdielna pre rôzne systémy či už GPS, GLONASS, Galileo alebo satelity

SBAS (WAAS, EGNOS, MSAT ...). Kritické miesta vysielaného signálu sú rôzne pre rôzne aplikácie a systémy. Zjednodušene môžeme povedať, že hlavička správy (preambula) časová synchronizácia, a CRC/paritná kontrola sú miesta, ktoré sú náchylné na rušenie typu jamming. Tento výskum bol podrobne rozobraný v článku autorov Curran T.J., et.all. A Look at the Threat of Systematic Jamming of GNSS (5),(6).

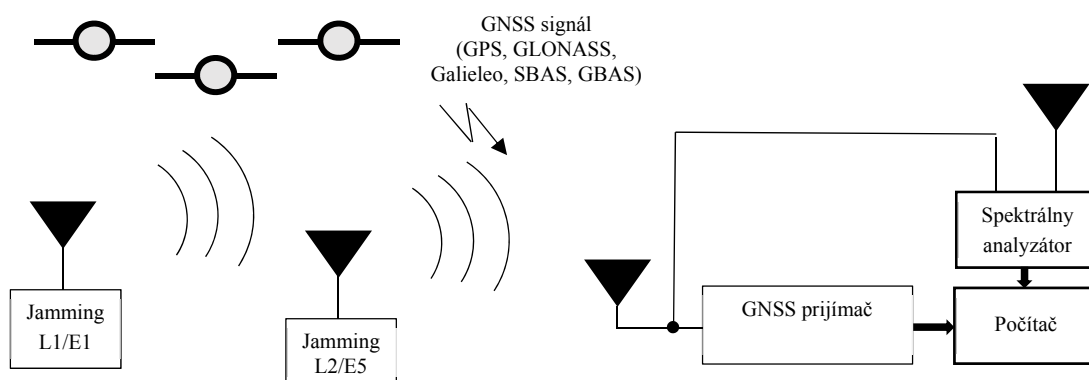
Pri meraní rušenia signálu GNSS je potrebné identifikovať, či ide o rušenie všetkých systémov (GPS, GLONASS, GALIELO) resp. iba časti signálov GNSS (napr. L1 GPS). Následne je potrebné identifikovať do akej miery sú použiteľné samotné GNSS pre identifikáciu polohy rušiacoho signálu. Pričom pre meranie rušenia GNSS je potrebné identifikovať :

1. Typ útoku na zariadenie.
2. Intenzitu s sila útoku
3. Polohu, respektíve polohy zdroja rušenia signálu

Pod typom útoku na zariadenie sa rozumie, či ide o jednoduchý útok typu jamming, alebo zložitejší útok typu meaconing resp. spoofing.

2.1 Jamming

Je to najjednoduchšia forma rušenia, kedy GNSS prijímač nie je schopný prijať slabšie signály zo satelitov, pretože prijíma silnejšie signály vysielané na rovnakej frekvencii z iného zariadenia, ktoré prekryjú svojou intenzitou požadovaný signál z družice. Výsledkom je nedostupnosť systému.



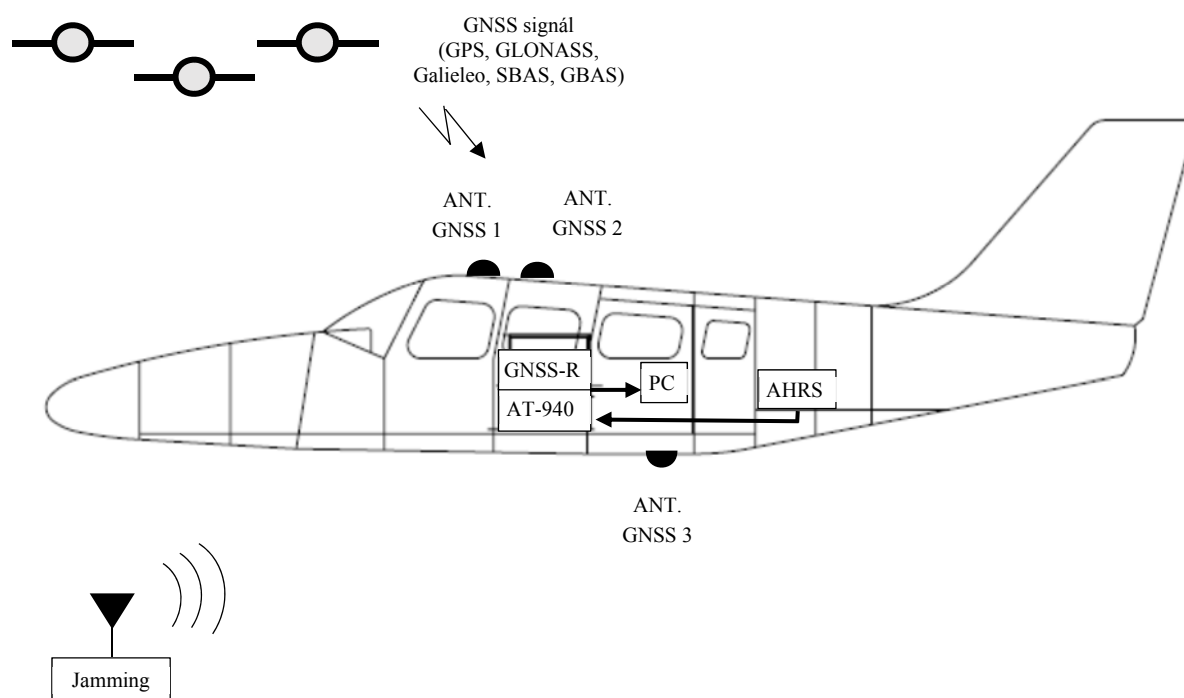
Zdroj: Autori

Obr. 1 – Meranie polohy rušenia signálu GNSS z rôznych zdrojov.

3. NÁVRH POSTUPU MERANIA RUŠENIA S VYUŽITÍM LETOVÉHO LABORATÓRIA

Meranie rušenia GNSS na frekvencii GPS L1 1575,42 MHz. Meranie bude prebiehať na palube letového laboratória AeroLab1, kde sú umiestené meracie prístroje WinFIS AT940, spektrálny analyzátor R&S, laptop s inštalovaným GNSS prijímačom NV08C-CSM a SW programu Storegis v 8.4.6.3. ako aj ďalšie existujúce technické vybavenie pre letové overovanie leteckých pozemných zariadení. Palubné vybavenie obsahuje 2 ks aktívnych antén pre príjem signálu GNSS, vrátane príjmu signálu SBAS. Antény majú orientáciu smerom nahor, pričom sú inštalované na vrchnej časti trupu lietadla slúžia pre príjem signálov zo satelitu. Anténu v pásme GNSS pre príjem rušiacich signálov zo zeme s orientáciou smerom nadol, teda pod

trupom lietadla. Systém je vybavený systémom AHRS, pre určenie polohy antény v priestore pre správne vyhodnotenie merania. Poloha lietadla v prípade rušenia signálu GNSS musí byť určená na základe inerčného systému, resp. na základe použitia konvenčných pozemných navigačných zariadení VOR/DME resp. v prípade že nie je rušené celé spektrum GNSS (GPS, GLONASS, Galileo), použije sa iba jeden systém napr. pri rušení GPS L1C, sa použije systém GLONASS a naopak pri rušení GLONASS L1C sa použije systém GPS L1C resp. Galileo. Pri meraní sa určí typ rušenia, jeho smer a charakter. Toto meranie je čiastočne automatizované, pričom sa využíva konzola AIRFILED AT-940, v režime merania RNAV/GNSS, kedy sa meria trať (ENR), priblíženie (APP) resp. zvolená oblasť, ktorá je predmetom záujmu. Skenované sú frekvencie GPS L1C, GLONASS L1C a Galileo E1C, kde sa porovnáva úroveň signálu. Ak je signál z ANT. GNSS 3 >> signál ANT. GNSS 1 a GNSS 2 je vyhlásený alarm a začne proces detekcie rušenia, resp. interferencie. Tento proces sa zároveň spustí ak je prekročená prahová hodnota signálu na ANT. GNSS 1 a ANT GNSS 2, ktorá nezodpovedá priemernej hodnote signálu zo satelitu. Zároveň je sledovaný signál zo satelitov EGNOS L1, či nie je jeho hodnota rušená a stav integrity systému. Následné meranie po detekcii rušenia resp. interferencie prebieha čiastočne v manuálnej podobe pri vyhodnotení výsledkov. Schematické zapojenie jednotlivých blokov na palube laboratória AeroLab 1 je na obrázku č. 2.



Zdroj: Autori

Obr. 2 – Bloková schéma merania na palube AEROLAB 1.

Zdroj interferencie je umiestnený v dvoch bodoch, prvým bodom je letisko Žilina budova univerzity kde je simulovaný zdroj interferencie (v hangári pre údržbu je inštalovaný zosilňovač GPS L1 signálu (bod 1)). Tento však spôsobuje nežiadúce vyžarovanie a interferenciu na frekvencii GPS L1. Druhý zdroj interferencie je rušička signálu v automobile, za účelom rušenia palubnej jednotky OBU 1374 pre mýtny systém a rušenie palubnej jednotky pre GPS

monitorovanie vozidiel (bod 2). Tu sú použité dva druhy rušiacich jednotiek vyrábaných ako PPD pre GPS L1 a rušičky UAV.

3.1 Sledované parametre

- Signál na palube lietadla je sledovaný prostredníctvom konzoly pre letové overovanie WinFIS AT940, záznam priebehu letu v aplikácii RNAV systému WinFIS AT 940.
- Sledovanie spektra signálu spektrálnym analyzátorom R&S zapojeným paralelne ku konzole WinFIS AT 940 a priamo na anténu GPS pod lietadlom.
- Meranie prostredníctvom prenosného prijímača GNSS NV08C-CSM s anténou umiestnenou na trupe lietadla v pilotnej kabíne.
- Piloti sledujú palubné prístroje, výpadok satelitov GPS a EGNOS (hlásenie cez tlačidlo „pilot event“ do systému konzoly WinFIS AT940).

Cieľom experimentu a merania je:

- identifikovať vplyv interferencie na bezpečnosť priblíženia RNAV (GPS L1, EGNOS)
- identifikovať kritické body a fázy letu, priblíženia

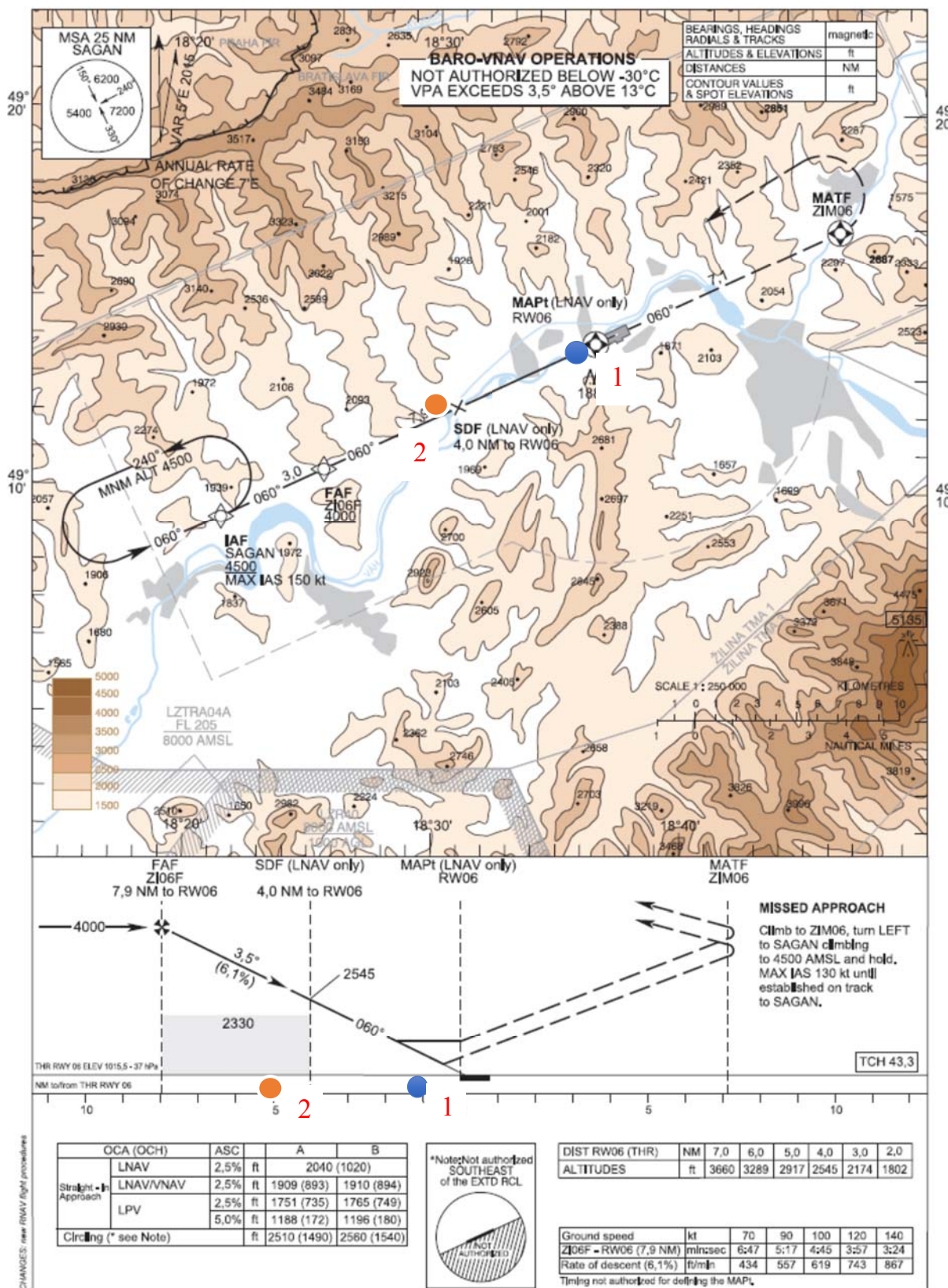
3.2 Scenár letu a merania č.1

1. Vykonalie štandardného odletu z letiska Žilina v zmysle SID (bez rušenia).
2. Prílet STAR (bez rušenia).
3. Vykonalie holdingu, kontrola GNSS poloha integrita systému (bez rušenia).
4. Pokračovanie na IAF – FAF (bez rušenia).
5. Po ohlásení FAF začatie rušenia od PPD umiestnenej v automobile (napr. kamiónu) v pozícii blízko bodu ZLA (parkovisko na diaľnici Predmier) lietadlo pokračuje na zostupe až do bodu MAPt (záznam rušenia na palube lietadla).
6. Lietadlo pokračuje po okruhu pre dráhu 06 LZZI, v polohe po vetre sa aktivuje rušička na letisku od nesprávne fungujúceho zosilňovača v hangári pre údržbu (meranie intenzity signálu rušenia).

3.3 Scenár letu a merania č.2

1. Vykonalie štandardného odletu z letiska Žilina v zmysle SID (bez rušenia).
2. Prílet STAR (bez rušenia).
3. RNP APCH na LPV od bodu IAF holding (bez rušenia).
4. Vykonalie jedného holdingu (podľa potreby).
5. Pokračovanie na IAF – FAF (rušenie signálu od osobnej rušičky UAV).
6. Po ohlásení FAF začatie rušenia na letisku od nesprávne fungujúceho zosilňovača v hangári pre údržbu (meranie intenzity signálu rušenia).
7. Pokračovanie v lete až na finále dráhy 06 LZZI, následne postup pre okruh pre dráhu 06 LZZI (rušenie pokračuje).

T



Zdroj: Autori

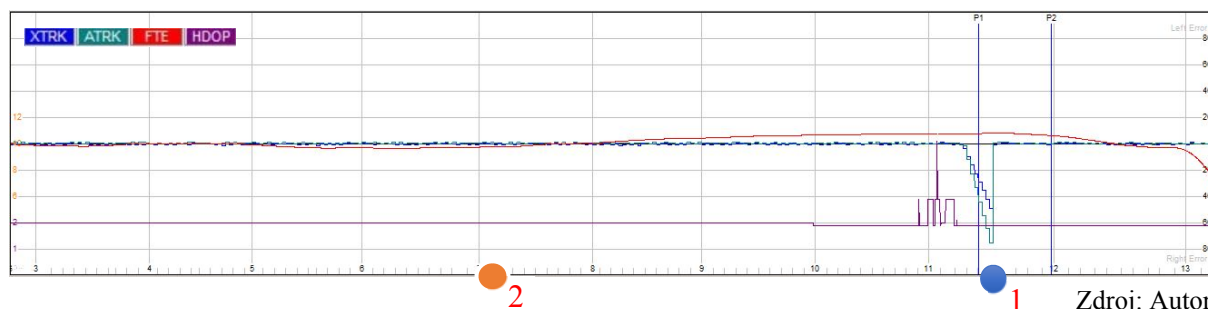
Obr. 3 – Situačné umiestnenie zdrojov rušenia na mape ICAO letiska LZZI.

4. VÝSLEDKY MERANIA A DISKUSIA

Meranie prebiehalo na letisku Žilina (LZZI) od 16 do 17 hod lokálneho času pričom na uvedené meranie bolo vydané povolenie Úradu pre reguláciu elektronických komunikácií a poštových služieb, kedy boli stanovené max. hodnoty rušiaceho signálu nasledovne: max. vysielač výkon – 20dBm, max. výkon EIRP -43 dBW, anténa zisk 3dBi, frekvencia GPS L1 1575,42 MHz s šírkou kanála 30MHz. Tieto parametre simulujú technické zariadenia používané ako personálne rušičky, pričom ich simulácia bola realizovaná prostredníctvom signálneho generátora RF Explorer firmy WiMo GmbH a prostredníctvom personálnej rušičky (PPD) zakúpenej na tento účel na eBay. Tieto zariadenia boli umiestnené v automobile na parkovisku, tak aby simulovali poruchu resp. nezákonné rušenie signálu GNSS, ktoré sa vyskytuje v autách a kamiónoch. Miesto vysielača bolo zvolené na frekventovanej diaľnici v blízkosti bodu ZLA, ktorá križuje zostupovú os pre prístrojovú dráhu 06 LZZI, bod č.2. (vid' obr. č.3 – situačná mapa). Druhým zariadením bol zakúpený zosilňovač signálu GNSS (GPS) určený pre autá, lode a malé budovy. Na uvedenom zosilňovači signálu sme simulovali jeho poruchu, teda nesprávne zapojenie, kedy signál je vysielač nie do priestoru auta alebo budovy, ale do voľného priestoru, čo spôsobuje, že zariadenie generuje nosný signál, ktorý ruší signál GNSS. Toto zariadenie bolo inštalované na letisku Žilina bod č.1. (vid' obr. č.3 – časť horizontálna situačná mapa).

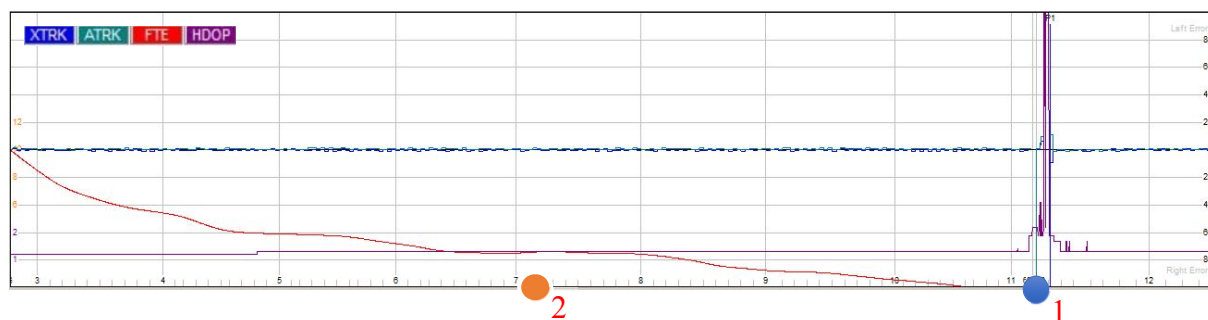
Meranie bolo realizované na základe dvoch vyššie uvedených scenárov, a podľa každého zo scenárov bolo meranie realizované dvakrát, pričom piloti, operátor a pozemný personál mali zabezpečené obojstranné spojenie.

Prvý scenár bol letený pre prístrojovú dráhu 06 LZZI, pričom bol dodržaný štandardný postup pre priblíženie. Záznam merania je na obrázku č. 4 pričom z nameraných hodnôt je zrejmé, že signál v priestore zostupu GNSS pre dráhu 06 LZZI bol rušený iba pozemnou rušičkou signálu č.1, ktorá predstavovala poškodený zosilňovač signálu GNSS. V prvom aj druhom meraní boli namerané obdobné hodnoty priebehu rušenia signálu GNSS na frekvencii GPS L1, pričom na palube lietadla bol zaznamenaný výpadok signálu a jeho obnova bola zaznamenaná po 90 sekundách posádkou lietadla. Ako je z priebehu chýb XTRAK, ATRA a HDOP zrejmé výpadok signálu nespôsobila rušička umiestnená na parkovisku v bode č.2 a to z dôvodu bezpečnej výšky lietadla nad terénom (vid' obr.č.3 – časť vertikálny profil zostupu) a odolnosťou antény palubného prijímača GNSS. Na základe uvedeného môžeme konštatovať, že bežné personálne rušičky do auta neprekročia prah odolnosti prijímača palubného systému GNSS v prípade dostatočnej vertikálnej separácie.



Obr. 4. - Výstup merania scenár č.1, meranie chyby signálov GNSS XTRAK, ATRAK, HDOP a FTE. Zdroj: Autori

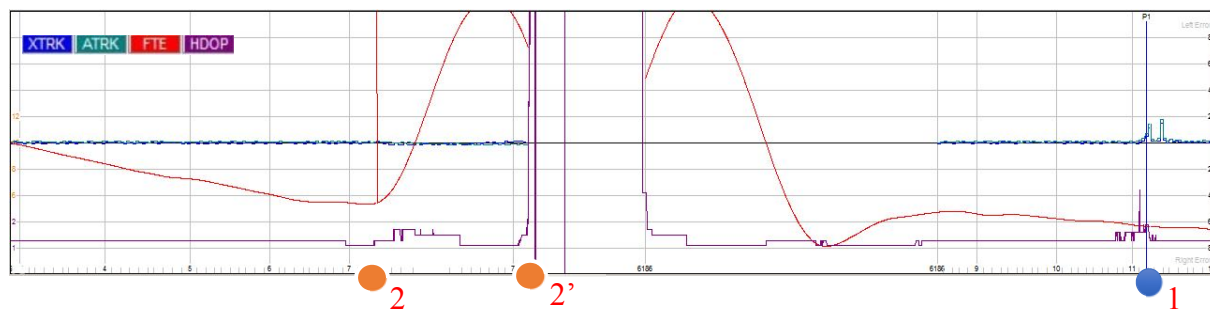
Druhý scenár bol letený pre prístrojovú dráhu 06 LZZI, pričom bol dodržaný štandardný postup pre priblíženie. Druhý scenár merania mal zmenu v použití zdroja rušenia v bode č.2 kedy, ako zdroj rušenia bola použitá rušička so smerovou anténou určená k rušeniu UAV. Na letisku bola znovu použitá rovnaká rušička ako podľa prvého scenára. Záznam merania je na obrázku č. 5 pričom z nameraných hodnôt je zrejmé, že signál v priestore zostupu GNSS pre dráhu 06 LZZI bol rušený iba pozemnou rušičkou signálu č.1. V prvom aj druhom meraní boli namerané obdobné hodnoty priebehu rušenia signálu GNSS na frekvencii GPS L1, pričom na palube lietadla bol zaznamenaný výpadok signálu a jeho obnova bola zaznamenaná po 120 sekundách posádkou lietadla. Ako je z priebehu chýb XTRAK, ATRA a HDOP zrejmé výpadok signálu nespôsobila smerová rušička UAV umiestnená na parkovisku v bode č.2 a to z dôvodu bezpečnej výšky lietadla nad terénom (viď obr.č.3 – časť vertikálny profil zostupu) a odolnosťou antény palubného prijímača GNSS. Pri tomto meraní piloti vykonali priblíženie na dolnej hranici, čo je zrejmé z priebehu chyby FTE, ktorá predstavuje odchýlku leteného od plánovaného. Piloti overili týmto letom spodnú bezpečnú hranicu pre zostup.



Obr. 5. - Výstup merania scenár č.1 , meranie chyby signálov GNSS XTRAK, ATRAK, HDOP a FTE. Zdroj: Autori

Pre zistenie, kedy môže ohroziť signál z PPD rušičky alebo rušičky UAV priebeh priblíženia boli vykonané ďalšie dva lety (merania) podľa scenáru č. 1 a 2, kedy na rozdiel od predchádzajúcich meraní bola v bode č.2 vykonaná zatáčka 1 x 360° pre vyčkávanie, počas tejto zatáčky bolo simulované podklesanie minimálnej bezpečnej výšky, čo je označené na x osi bodmi 2 a 2'. Na x-osi sa to prejavilo jej nelinearitou medzi 7 – 9 NM. Avšak v tomto

prípade došlo k rušeniu signálu GNSS na frekvencii GPS L1, čo je zrejme z nameraných chýb XTRAK, ATRAK a HDOP práve v okolí bodu č. 2 (vid'. obr. č.6) Ako je zrejme pri vykonávaní zatáčky 1x 360° dochádza ku náklonu lietadla, kedy sa antény systém nakloní smerom k zemi a trup lietadla netvorí ochranu pred pozemným signálom. V tomto prípade dôjde k priamej interakcii signálov GPS L1 a užitočný signál je niekoľko sekúnd počas náklonu blokován nežiadúcim signálom PPD alebo UAV rušičky.



Zdroj: Autori

Obr. 6. - Výstup merania scenár č.2 , meranie chyby signálov GNSS XTRAK, ATRAK, HDOP a FTE.

Na základe hore uvedených experimentálnych meraní a jednotlivých scenárov môžeme konštatovať, že palubné prijímače GNSS majú pomerne dobrú odolnosť voči rušiacemu signálu vďaka izolačnej schopnosti trupu lietadla, ktorá sa však stráca pri manévroch, ktoré lietadlo vykonáva (zatáčanie lietadla), kedy v tomto prípade je potrebné brať na zreteľ, že čím bude trať konečného priblíženia obsahovať viac bodov zakrivenia, tým je väčšia pravdepodobnosť rušenia signálu GNSS. Zároveň v prípade, že lietadlo letí príliš nízko nad zemou (napr. vrtuľník) alebo podklesá min. bezpečnú výšku, vystavuje sa nie len riziku zrážky z terénom, ale aj väčšej pravdepodobnosti, že náhodný rušiaci signál zo zeme bude rušiť palubný navigačný systém. Priblíženia GNSS pre jednotlivé letiská, by preto mali mať spracované vo svojich analýzach rizík aj túto podstatnú skutočnosť, nakoľko obnovenie signálu a plná navigačná výkonnosť pre systém GNSS priblíženia môže trvať rádovo niekoľko minút. Pričom zdroj rušenia a výpadku satelitného signálu iba rádovo desiatky sekúnd (vid' obr. 4,5 a 6).

ZÁVER

Meranie a identifikácia rušenia signálu GNSS má veľký význam pre bezpečnosť, nie len leteckej dopravy, ale aj pre iné aplikácie využívajúce GNSS signál či už ako zdroj presnej polohy alebo ako zdroj presného času. V mnohých prípadoch nepostačuje budovať pozemné stanice monitoringu rušenia, nakoľko tieto nie sú schopné pokryť celú oblasť a majú iba obmedzené možnosti pokrytia príjmu signálu, na ktorom môžu monitorovať prípadné rušenie signálu GNSS. Meranie prostredníctvom letového laboratória, umožňuje identifikovať, sledovať a vypátrať rušenie v pomerne krátkej dobe, a zároveň je možné koordinovať takéto pátranie s pozemným monitoringom, a tak je možné odhaliť nie len koordinovaný útok, ale aj náhodné rušenia signálov GNSS, ktoré je ťažko identifikovateľné. Letové laboratória sú z pohľadu prevádzky vysoko efektívne pre experimentálne merania, ale aj pre pravidelný

monitoring. Ich efektivita je však závislá od použitia v teréne a možnosti online riešenia resp. s možnosťou priamej obojsmernej komunikácie. Umiestnenie monitorovacích staníc do väčšej vzdialenosti od letiska, nemá praktický význam pre identifikáciu rušenia. Experiment potvrdil, že v členitom horskom teréne, kde je signál šírený, je rušenie od pozemných rušičiek významné až v momente, kedy lietadlo klesne pod 1000 ft AGL, teda antény umiestnené na trupe lietadla môžu byť ožiarené rušivým signálom. Tu však existujú technické prostriedky, ktoré umožňujú zlepšiť parametre anténneho systému tak, aby nedošlo k rušeniu signálu GNSS.

POUŽITÁ LITERATURA

- (1) GPS jamming: *No jam tomorrow*. The Economist [online]. Source: <https://www.economist.com/news/technology-quarterly/18304246-navigation-uses-satellite-positioning-technology-continue-grow-what> [cit. 2019-07-28].
- (2) *FCC Fines Operator of GPS Jammer That Affected Newark Airport GBAS*, Inside GNSS, August 31, 2013, [online]. Source: <http://insidengss.com/fcc-fines-operator-of-gps-jammer-that-affected-newark-airport-gbas/> [cit. 2019-09-09].
- (3) *RNSS and the ITU Radio Regulations*, Inside GNSS, January 1, 2018, [online]. Source: <http://insidengss.com/rnss-and-the-itu-radio-regulations/> [cit. 2019-09-09].
- (4) JONES, M. : *Protecting GNSS Receivers from Interference and Jamming*, Inside GNSS, April 2011, S 40-49. [online]. Source: <http://insidengss.com/auto/marapr11-Jones.pdf>
- (5) CURRAN T.J ET.AL. : *A Look at the Threat of Systematic Jamming of GNSS*, Inside GNSS, September/October 2017, S 46-53. Source: <http://insidengss.com/auto/sepoct17-CURRAN.pdf>
- (6) KRAUS, J.: *Determining acceptable level of safety of approach to landing*, Transport Means - Proceedings of the International Conference, pp. 230., 2016.
- (7) KALAŠOVÁ, A., FAITH, P. & MIKULSKI, J.: *Telematics applications, an important basis for improving the road safety.*, 2015.
- (8) LABUN, J., FÁBRY, S., ČEŠKOVIČ, M. & KURDEL, P.: *Mechanical demodulation of aircraft antenna signal*, Transportation Research Procedia, pp. 149., 2017.
- (9) ZAGORECKI, A., RISTVEJ, J. & KLUPA, K.: *Analytics for protecting critical infrastructure*, Communications - Scientific Letters of the University of Žilina, vol. 17, no. 1, pp. 111-115., 2015
- (10) KAZDA, A. ET AL.: *Future airports development strategies* Communications : scientific letters of the University of Žilina. - ISSN 1335-4205. - Vol. 15, no. 2 (2013), s. 19-24.