



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta dopravní
Ústav letecké dopravy**

Mapování zátěže palubních odpovídáčů SSR v prostoru ČR

Diplomová práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích
Studijní obor: Provoz a řízení letecké dopravy

Bc. Miroslav Panda

Praha, 2021



K621 **Ústav letecké dopravy**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Miroslav Panda

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – PL – Provoz a řízení letecké dopravy

Název tématu (česky): **Mapování zátěže palubních odpovídačů SSR v prostou ČR**

Název tématu (anglicky): Mapping of Airborne SSR Transponders Load in the Airspace of the Czech Republic

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je získat statistický popis zatížení letadlového odpovídače SSR pro definovaný grid prostorových elementů nad oblastí ČR z dat dostupných ze školních pozemních ADS-B přijímačů.
- 1) Problematika fúzování dat naměřených od více ADS-B přijímačů – analýza možnosti využití již dostupných skriptů.
- 2) Definování gridu a návrh postupu měření
- 3) Vytvoření SW nástroje pro zpracování dat
- 4) Statistický popis zátěže SSR odpovídače (definovaného množstvím a typem emitovaných odpovědí) pro každý prostorový element definovaného gridu vzdušného prostoru ČR
- 5) Grafická interpretace výsledků v geografické i časové rovině.

- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího diplomové práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: ICAO Aeronautical Surveillance Manual (Doc 9942)
ICAO Annex 10 Volume IV Surveillance and Collision Avoidance Systems
<https://www.mathworks.com/>


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Stanislav Pleninger, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **17. července 2019**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **17. května 2021**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia



doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D.
vedoucí
Ústavu letecké dopravy



doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

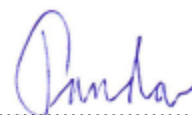
.....
Bc. Miroslav Panda
jméno a podpis studenta

Prohlášení

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Prešov, 8.8.2021



.....
Bc. Miroslav Panda

Pod'akovanie

Týmto veľmi ďakujem za rady a usmerňovanie môjmu vedúcemu práce, rodičom a celej rodine za všetkú podporu počas štúdia aj pred ním, kamarátom za motiváciu, všetkým, ktorí akokoľvek prispeli k môjmu dnešnému prehľadu a vedomostiam o letectve či už v školskom prostredí, alebo mimo neho a tomu, bez koho by nič nebolo možné.

Zoznam skratiek

ACAS	Airborne Collision Avoidance System
ADF	Automatic Direction Finding
ADIZ	Air Defense Identification Zone
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance Broadcast
AGL	Above Ground Level
AIP	Aeronautical Information Publication
AMSL	Above Mean Sea Level
ATC	Air Traffic Control
ATIS	Automatic Terminal Information Service
ATM	Air Traffic Management
ATZ	Aerodrome Traffic Zone
CDTI	Cockpit Display of Traffic Information
CTA	Control Area
CTR	Control Zone
ČR	Česká republika
DME	Distance Measuring Equipment
EASA	European Air Safety Agency
EHS	Enhanced Surveillance
ELS	Elementary Surveillance
ES	Extended Squitter
EÚ	Európska únia
FDPS	Flight Data Processing System
FIR	Flight Information Region
FL	Flight Level
FMS	Flight Management System
FRUIT	False Replies Un-synchronized In Time
GAT	General Air Traffic
GND	Ground
GPS	Global Positioning System
GPWS	Ground Proximity Warning System
ICAO	International Civil Aviation Organization
IFR	Instrument Flight Rules
MCTR	Military CTR

MLAT	Multilateration
MTMA	Military TMA
MTOW	Maximum Takeoff Weight
NM	Nautical Miles
PIC	Pilot In Command
PRF	Pulse Repetition Frequency
PSR	Primary Surveillance Radar
QNH	Tlak redukovaný na hladinu mora
RA	Resolution Advisory
RDPS	Radar Data Processing System
RMZ	Radio Mandatory Zone
SAR	Search And Rescue
SESAR	Single European Sky ATM Research
SI	Surveillance Identifier
SLS	Side Lobe Suppression
SPI	Special identifier
SSR	Secondary Surveillance Radar
TA	Traffic Advisory
TAS	True AirSpeed
TCAS	Traffic (alert) and Collision Avoidance System
TMA	Terminal Manoeuvring Area
TRA	Temporary Reserved Area
TRA GA	Temporary Reserved Area - General Aviation
TSA	Temporary Segregated Area
UAT	Universal Access Transceiver
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UTC	Universal Time Coordinated
VFR	Visual Flight Rules
WAM	Wide Area Multilateration

Abstrakt

Práca zisťuje, aké sú priemerné hodnoty počtu odpovedí za čas vyslaných odpovedačmi SSR v jednotlivých priestorových elementoch vzdušného priestoru Českej republiky, zachytených ADS-B prijímačmi ČVUT. Pojednáva o princípoch a funkčných parametroch sekundárneho prehľadového radaru, lietadlových odpovedačoch a o záťažových parametroch týkajúcich sa odpovedačov a frekvenčného pásma, ktoré je pre prenos prehľadových informácií využívané. Spomína javy, na ktoré je náchylný lietadlový odpovedač pri vysokom vyťažení frekvencií 1030 a 1090 MHz a intenzity dotazovania. Kládie do súvisu popísané vlastnosti s vzdušným priestorom Českej republiky.

Kľúčové slová

odpovedač, vzdušný priestor, prehľadové systémy, obsadenosť odpovedača, módy odpovedača, prevádzkové postupy, SSR odpovede za sekundu, ADS-B

Abstract

The work discovers average reply rates in time sent out by SSR transponders in each element of an airspace of the Czech Republic, received by ADS-B receivers of the CTU. It deals with the principles and functional parameters of the secondary surveillance radar, aircraft transponders and the load parameters related to the transponders and the frequency band that is used for the transmission of surveillance information. It mentions the phenomena to which the aircraft transponder is prone at high load of frequencies 1030 and 1090 MHz and interrogation rates. It relates the described properties to the airspace of the Czech Republic.

Key words

transponder, airspace, surveillance systems, transponder occupancy, transponder modes, operating procedures, SSR replies in second, ADS-B

Obsah

1	Úvod	12
2	Sekundárny prehľadový radar, princípy a súvisiace technológie	14
2.1	ADS-B	18
2.2	Požiadavky na výkonnosť.....	20
2.3	Pozemné dotazovače SSR	21
2.3.1	Dotazy módu A a C	21
2.3.2	Dotazy módu S.....	23
3	Odpovedač	24
3.1	Kódy odpovedača vo svete	28
3.2	Kódy odpovedača v ČR.....	30
3.3	Prevádzka systému Airborne collision avoidance system	33
4	Odpovedače v praxi.....	36
4.1	Garmin GTX 327	36
4.2	Becker BXP 6403	40
5	Vyťaženie, obsadenosť odpovedača	44
5.1	Mód A a mód C	45
5.2	Mód S	45
5.3	Hlavný lúč.....	45
5.4	Bočné laloky	46
5.5	Ostatné zariadenia na rovnakej frekvencii	46
6	Metodika analýzy dát	55
6.1	Prvotné načítanie dát	55
6.2	Voľba ADS-B prijímača pre analýzu	56
6.3	Dekódovanie polôh a časov	57

6.4	Priradovanie polôh	58
6.5	Definovanie súradnicovej siete priestorových elementov	59
6.6	Detekcia viacnásobných preletov	61
6.7	Výpočet počtu odpovedí a počtu preletov	62
7	Výsledky.....	63
7.1	Prijímač ADS-B 1 - Strahov, deň	63
7.2	Prijímač ADS-B 3 – Letňany, deň.....	66
7.3	Prijímač ADS-B 1 – Strahov, noc	69
7.4	Prijímač ADS-B 1 - Strahov, deň, lokálna metóda.....	71
8	Záver	72
9	Zoznam použitej literatúry	74
10	Zoznam obrázkov.....	76
11	Zoznam použitých tabuliek.....	78
12	Zoznam príloh	79

1 ÚVOD

Leť. Naviguj. Komunikuj. Kontroluj. Osobne som ešte nepočul ani jedného odborníka, ktorý by s poradím slov tejto známej leteckej mantry nesúhlasil. Podľa nej by sa mal letiaci pilot v prvom rade sústrediť na to, aby kvôli nedostatku vztlaku neprešiel z letu do pádu. Hneď potom, ak sa úspešne drží vo vzduchu, by sa mal venovať tomu, kde sa nachádza a kam letí. Poloha lietadla vždy do istej miery definuje či bude možné dokončiť let bezpečne a za plánovaných okolností, nehovoriac o nevedomom vlete pilota tam, kam vletieť nemal. V tom mu na zemi pomáhajú prehľadové systémy a pracovníci riadenia letovej prevádzky; spoľahlivé určovanie polohy je teda dôležité aj pre nich.

Spolu s rozvojom leteckej dopravy a zahusťovaním prevádzky vo vzdušnom priestore sa modernizujú aj prehľadové systémy. No zároveň sa stáva ich štruktúra zložitejšia a ich fungovaniu je zložitejšie plne porozumieť. Množstvo podobných systémov pre rôzne úlohy používa rovnaké komunikačné kanály, počet prehľadových správ sa zvyšuje a navyše mód S si vyžaduje v správach väčší kus času ako jeho predchodcovia.

Sekundárne radary tvoria chrbticu získavania prehľadových informácií už niekoľko desaťročí. Ich kooperatívny charakter v zmysle spolupráce lietadlovej avioniky s pozemným zariadením má množstvo výhod a prináša riadiacim letovej prevádzky v podstate nevyhnutné informácie pre zvládnutie dnešného charakteru letovej prevádzky. Na druhej strane je riziko, že pri poklese výkonnosti kooperatívneho elementu dôjde k nedostatočnému plneniu úloh systému alebo v krajnom prípade k jeho kolapsu.

Od začatia používania priestorovej navigácie a v niektorých štátoch takzvaného „free route airspace“ vznikla potreba presnejších prehľadových údajov pre riadenie letovej prevádzky a ideálne z viacerých senzorov. Európsky vzdušný priestor je navyše jeden z najvyťaženejších vôbec, čo sa týka počtu pohybov a je tu veľké množstvo subjektov poskytujúcich služby riadenia letovej prevádzky. Popri členitosti priestoru nie je vždy rozmiestnenie pozemných staníc prehľadovej techniky optimalizované. Zvýšenie pokrytia v jednom štáte väčšinou znamená súčasne zvýšenú záťaž na odpovedače v inom štáte. Spoločne s tým rastie aj celková obsadenosť rádiových frekvencií s tokom prehľadových a navigačných dát.

Nasledujúce strany sú venované funkcionalitám sekundárneho radaru a odpovedača, ich režimami, módmi a potenciálnymi nedostatkami. Potenciálnymi preto, lebo do veľkej miery závisia od prostredia, v ktorom sú inštalované, hlavne od hustoty prevádzky a počtu iných vysielateľov využívajúcich rovnaké pásmo. Uvedené sú niektoré prevádzkové postupy súvisiace s odpovedačmi sekundárnych radarov a požiadavky, ktoré u prehľadového vybavenia stanovujú predpisy.

V praktickej časti sa je práca zameraná na spracovanie autentických dát odpovedí transponderov lietadiel vo vzdušnom priestore Českej republiky a okolo neho, a zachytených low-cost ADS-B prijímačmi. Realita sa bude ale mierne líšiť od nameraných výsledkov a závisí od dokonalosti samotnej detekcie, napríklad koľko z vyslaných správ prijímač nezachytí kvôli terénnym prekážkam v detekčnom priestore ADS-B prijímačov. Výsledok však bude dávať predstavu o možnostiach použitých prijímačov a do istej miery aj o intenzite zaťaženia odpovedačov vo vzdušnom priestore. Dáta prijaté ADS-B prijímačmi uložené do dátových súborov na server boli spracované skriptom v prostredí Matlab, ktorý bol v rámci tejto práce vytvorený. Vypočítaná záťaž odpovedačov je vyjadrená najmä priemerným počtom odpovedí za sekundu vo vzdušnom priestore Česka a v blízkom okolí je reprezentovaná graficky.

2 SEKUNDÁRNY PREHLÁDOVÝ RADAR, PRINCÍPY A SÚVISIACE TECHNOLOGIE

Sekundárny prehľadový radar (SSR) je spolu so zobrazovacím vybavením v letectve v značnej miere používaný na vytvorenie prehľadu o vzdušnej situácii pre zabezpečenie služby riadenia letovej prevádzky. Sekundárny znamená, že namiesto vysielania rádiových vln a spracovania ich čiastočných odrazov späť k radaru vysiela sekundárny radar takzvané dotazy, ktoré lietadlá zachytia a ako reakciu vyšlú odpoveď za pomoci odpovedača (transpondera) a jeho antény. Táto odpoveď je sekundárnym radarom znovu zachytená a spracovaná. Ide teda o nezávislý kooperujúci prehľadový systém.

Podľa spôsobu nezávislosti pozemného zariadenia na zisťovanie polohy lietadiel a úrovne spolupráce zariadenia k tomuto účelu na palube lietadla existujú tieto základné druhy prehľadových systémov:

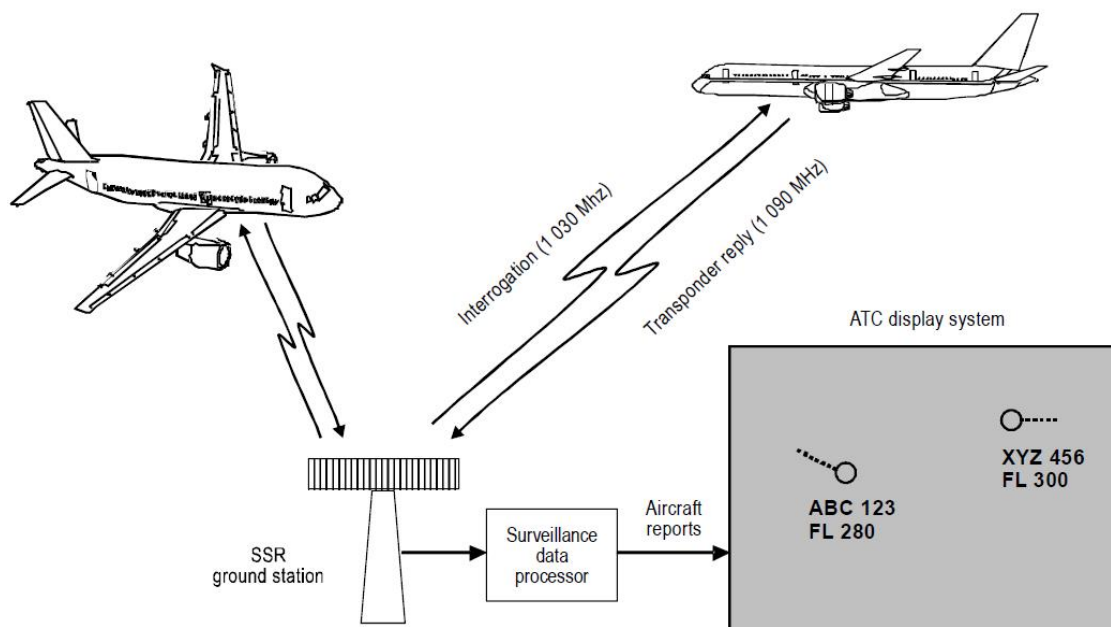
- a) **Nezávislé nekooperujúce** prehľadové systémy – poloha lietadla je získaná meraním bez použitia kooperácie zisťovaného lietadla. Najlepším príkladom je primárny prehľadový radar (PSR), ktorý dokáže zisťovať polohu lietadiel vo vzduchu, ale nie ďalšie jednoznačné informácie o lietadle
- b) **Nezávislé kooperujúce** prehľadové systémy – poloha lietadla je získaná meraním v spolupráci s lokálnym prehľadovým subsystémom na lietadle, ktorý nejakým spôsobom vysiela / inak prenáša prehľadovému systému na zemi svoje parametre (napr. barometrická výška, identifikácia). Typickým príkladom je sekundárny prehľadový radar (SSR), ktorý používa odpovedač na palube lietadiel na vysielanie dodatočných informácií
- c) **Závislé kooperujúce** prehľadové systémy – poloha lietadla je meraná priamo na palube lietadla a následne je odoslaná v hotovej podobe vrátane ďalších informácií o lietadle na zem prehľadovému subsystému [17].

Dôležitými vlastnosťami funkčných prvkov prehľadových systémov v letectve sú vysoká presnosť, integrita, kontinuita, dostupnosť, spoľahlivosť a doba aktualizácie. Presnosť v zmysle zhody získanej informácie so skutočnosťou, integrita znamená čo najlepšiu

schopnosť zistiť prípadné zlyhanie systému a čas medzi zistením zlyhania a varovaním, kontinuita znamená schopnosť systému / pravdepodobnosť, že bude fungovať bez neplánovaných prerušení služby počas želanej doby prevádzky. Dostupnosť systému je miera poskytovania služby v potrebnom čase a na vymedzenom mieste. Spôľahlivosť závisí od počtu zlyhaní za časovú dobu. Doba aktualizácie je časový rozdiel medzi poskytnutím rovnakého parametru pri po sebe nasledujúcich detekciách.

Systém sekundárneho prehľadového radaru (SSR) je založený na dvoch funkčných prvkoch: dotazovači na zemi a odpovedačoch na palubách lietadiel. Pozemná stanica sa zvyčajne skladá z rotujúcej antény. Anténa podľa uhlu pri vyslaní dotazu a podľa času, za aký príde odpoveď, umožní vypočítanie polohy cieľa. Rýchlosť rotácie určuje, ako často je prehľadová informácia aktualizovaná. Odpovede antény odpovedača umožňujú zistenie smerníka a vzdialenosti od pozemného dotazovača. Odpovedač má povolené fixné oneskorenie medzi prijatím dotazu, jeho dekódovaním, prípravou prenosu odpovede. Toto dané oneskorenie je brané do úvahy radarom na zemi keď spracúva odpoveď [3],[17].

Pováčšine sú antény primárneho a sekundárneho radaru pripevnené na jednom totožnom otáčacom mechanizme, čo zaisťuje synchronizovanú simultánnu detekciu a znižuje náklady. Systém spracovania kombinuje údaje z primárneho a sekundárneho radaru na tvorbu radarových cieľov (trackov). Primárny radar zabezpečuje detekciu prípadných lietadiel bez (funkčného) odpovedača a sekundárny radar detekuje lietadlá s odpovedačom vrátane ich tlakovej výšky a identifikácie. Dostupnosť oboch druhov informácií, z PSR aj SSR umožňuje rozpoznanie nedostatkov pri detekcii jedného druhu a pri spracovaní doplnenie, urovnávanie informácie údajmi z druhého systému. Primárny radar dokáže hlavne upozorniť na ciele bez odpovedača, ktoré omylom vniknú do riadeného vzdušného priestoru a to môže potom zabrániť zrážke [6],[17].



Obr. 1 Princíp SSR

Zdroj: ICAO Doc 9924

Podľa spôsobu, ako vyzerá signál dotazu odpovede a toho, čo obsahuje, môže byť signál vysielaný v rôznych módoch. Existujú aj iné, ale v praxi používané módy odpovedača sú A, C a S.

V móde A odpovedač vysiela identifikačný kód, takzvaný squawk, používaný na identifikáciu letu a následnú koreláciu s letovými dátami. Odpovedač v móde C vysiela navyše aj tlakovú výšku lietadla (výšku získanú barometrickým výškomerom) vztiahnutú k tlakovej hladine 1013,25 hPa (29,92 InHg). To znamená, že bez ohľadu na aktuálne nastavenie QNH na výškomere pilotom, dostane ATC vždy nadmorskú výšku lietadla podľa štandardného tlaku (1013,25 hPa). Týmto je zabezpečené vždy zobrazenie skutočného výškového rozdielu medzi lietadlami. Údaj o výške odpovedač odosiela s presnosťou na celých 100 ft.

Módy A a C svojimi parametrami skoro prestali stačiť prevádzkovým potrebám. O úroveň vyššie posunul získavanie prehľadových informácií mód S. Oproti módu C poskytuje odpovedač s módom S nie o jednu, ale niekoľko informácií navyše. Pri módoch A a C bol pri vyššej prevádzke v jednom vzdušnom priestore problémom takzvaný garbling, kedy sa niektoré signály odpovedačov v priestore a čase prekryjú a radar ostane zahľtený. To mohlo viesť k nebezpečným situáciám pri strate cieľa z obrazovky ATC. Dotazy módu S sa skladajú

z všeobecných a adresných dotazov. **Všeobecné dotazy** vysielané v tzv. režime all-call vysielajú rovnaký univerzálny dotaz všetkým lietadlám v dosahu radaru. Tomuto dotazu „rozumejú“ aj odpovedače v módoch A a C a vysielajú naň odpoveď. V tomto režime získava radar tiež informáciu o nových lietadlách s odpovedačom módu S v priestore, získaním ich odpovede obsahujúcej 24-bitovú adresu a polohu. **Adresné dotazy**, v režime roll-call, sú dotazy vysielané pre každé lietadlo v priestore (zisteným z all-call dotazovania) zvlášť, vďaka čomu môže byť odpovedí menej, pretože na daný dotaz odpovedá iba lietadlo, ktorému je dotaz určený. Všeobecné a adresné dotazy SSR vysielajú oddelene, tak aby sa časovo neprekrývali. Mód S je spätne kompatibilný s módmi A a C [1].

Pojem prehľadové informácie znamená akákoľvek položka dát v rámci prehľadového systému, ktorá sa týka dvojrozmernej polohy lietadla, vertikálnej polohy lietadla, letovej polohy lietadla, totožnosti lietadla, ICAO 24 bitovej adresy lietadla, zámeru lietadla, rýchlosti lietadla alebo zrýchlenia lietadla [4].

Údaje poskytované odpovedačom módu S:

- a) **ELS (Elementary Surveillance)**: identifikácia s volacím znakom, squawk, poloha, výška s presnosťou na celých 25 ft, schopnosť datalinku, status (GND / airborne), TCAS RA.
- b) **EHS (Enhanced Surveillance) k ELS navyše**: zvolená výška (FMS), uhol náklonu, traťový uhol, zmena traťového uhlu, rýchlosť voči zemi (ground speed), magnetický kurz, indikovaná rýchlosť a machové číslo, vertikálna rýchlosť

Vďaka módu S a prenášanej identifikácii letu (Aircraft Identification) lietadiel je možná automatická korelácia letových plánov s trackmi lietadiel – spolupráca medzi FDPS a RDPS. Adresné dotazovanie (prostredníctvom 24 bitovej adresy) eliminuje garbling (časové prekrytie odpovedí) a CRC princíp (cyclic redundancy check) znižuje množstvo chybných správ (informácií). To sa dá systémami RDPS ďalej spracovať pre lepšiu predikciu pohybu cieľov v porovnaní s módmi A a C. Spolu s prijímaním údajov o výške s presnosťou každých 25 ft dokáže systém presnejšie vyhodnocovať konflikty a dávať spoľahlivé včasné varovania riadiacemu. Riadiaci je schopný vďaka doplňujúcim informáciám vytvoriť si reálnejší obraz o vzdušnej situácii a činnostiach posádok lietadiel a v prípade potreby si tieto informácie

vyhľadá v rozšírenom popise cieľa, nemusí ich hlasovo žiadať od posádky. Údaj zvolenej výšky zvlášť zvyšuje bezpečnosť prevádzky a znižuje nároky potrebné na monitorovanie jedného lietadla.

Medzi výhody sekundárneho radaru v porovnaní s primárnym patrí nižšia spotreba energie pri monitorovaní rovnakého rádiusu. Sekundárny radar totiž iba potrebuje, aby signál dosiahol cieľ, ktorý ako reakciu potom anténou odpovedača odvysiela vlastný signál odpovede. V prípade primárneho radaru musí byť vyžiarený dostatočne silný signál, aby sa sám aj vrátil s detekovateľnej silou a to po odrazení od plochy objektu vo vzduchu. Ďalšou výhodou je zachovanie presnosti údajov prijatých od odpovedača lietadla so zvyšujúcou sa vzdialenosťou od radaru. Detekovaná výška v prípade primárneho radaru naberá so vzdialenosťou aj nepresnosť. Ciele na sekundárnom radare sú automaticky a jednoducho identifikovateľné riadiacim podľa squawku, prípadne volacieho znaku alebo iných prvkov módu S. Po ďalšie, nevznikajú nežiadúce rušivé odrazy signálu od terénu alebo prvkov počasia, ktoré zahltia obrazovku falošnými odrazmi (clutter) aj vďaka tomu, že dotazy a odpovede sú vysielané na rozdielnych frekvenciách [2].

2.1 ADS-B

ADS-B je technológia predstavujúca jeden z moderných spôsobov získavania prehľadových informácií. Poloha samotná je zistená na palube lietadla vlastnými navigačnými systémami a vysielaná lietadlom. Tento signál môže byť zachytený prijímačmi na zemi alebo aj prijímačmi iných lietadiel vo vzduchu. Prijatý signál sa spracuje systémami spracovania prehľadových dát, kde sa pre výslednú podobu pre ATC skombinuje s informáciou z iných senzorov.

Podľa Vykonávacieho nariadenia Komisie (EÚ) č. 1207/2011 sa „ADS-B rozumie automatický závislý prehľadový systém – vysielanie, spôsob sledovania, pre ktorý lietadlo automaticky poskytuje dátovým spojom informáciu získanú z palubných navigačných systémov a systémov určovania polohy [4].“

ADS-B je skratka automatic dependent surveillance broadcast. Automatické (automatic), pretože funguje bez akéhokoľvek externého dotazovania či stimulu. Závislé (dependent) znamená, že sa systém spolieha na navigačné systémy na palube, ktoré majú určitú polohu a

poskytnúť prehľadovú informáciu ďalej vysielaním (broadcast), bez ohľadu na to, kto a či vôbec informáciu prijíma. Z toho vyplýva, že pri zisťovaní polohy prostredníctvom technológie ADS-B neexistuje žiadne dotazovanie, žiadna obojstranná komunikácia medzi pozemným vybavením a lietadlom.

ADS-B môže fungovať v dvoch kategóriách: ADS-B Out a ADS-B In. Pre fungovanie ADS-B In je potrebný na lietadle zabudovaný prijímač a počítač, ktorý spracováva prijaté signály okolitej prevádzky. Situácia sa potom zobrazí na samostatnom alebo integrovanom displeji.

Tzv. mód S acquisition squitter je správa dlhá 56 bitov. Správa s označením 1090 MHz Extended Squitter obsahuje navyše blok dát dlhý ďalších 56 bitov (spolu potom 112 bitov), v ktorej sú prenášané informácie pre systém ADS-B. Tie sa vysielajú v súbore samostatných správ, z ktorých každá obsahuje istý typ, napríklad poloha, tlaková výška, rýchlosť, ID lietadla a typ, núdzové informácie. Poloha a rýchlosť sú vysielané dvakrát za sekundu [17].

ADS-B Out je požadované FAA v USA od 1.1.2020 pre každé lietadlo s odpovedačom – buď s technológiou 1090 MHz ES (SSR mód S) alebo samostatný datalinkový vysielateľ UAT 978 MHz (universal access transceiver), tento však nezapepečí medzinárodnú kompatibilitu. UAT bol navrhnutý ako všeobecný letecký data link, ktorý umožní príjem údajov a vysielanie ADS-B správ a používa sa hlavne v USA a nad Atlantikom [17].

V Európe je dnes podľa Nariadenia EÚ 1207/2011 povinné pre všetky lety IFR spĺňať požiadavky módu S – ELS. Lietadlá s MTOW > 5700 kg alebo max. cestovnou TAS > 250 uzlov sú do 7.6.2020 povinné spĺňať požiadavky módu S – EHS a tým tiež ADS-B Out.

Najmä pri spracovaní spolu so SSR dátami a MLAT zvyšuje ADS-B presnosť výsledného prehľadového zobrazenia. Môže sa tiež použiť na získavanie prehľadových informácií na letiskovej ploche.

V budúcnosti bude možno systém ADS-B In zabezpečovať lietadlám takzvanú „self separation“. Európsky plán na modernizáciu spravovania vzdušného priestoru SESAR ráta s tým, že v istých situáciách bude môcť byť zabezpečené dodržanie rozstupov vo vzdušnom priestore čiastočne aj bez exekutívy ATC. Lietadlá disponujúce ADS-B In (predpokladá sa jeho zavádzanie ako ďalší stupeň po zavedení ADS-B Out) budú navzájom prijímať

prehľadové informácie o priestore okolo nich a potom zabraňovanie konfliktom bez zásahu ATC.

2.2 Požiadavky na výkonnosť

Nariadenie komisie EÚ 1207/2011 stanovuje požiadavky na výkonnosť a interoperabilitu sledovania (surveillance) pre jednotné európske nebo. Podľa neho členské štáty zabezpečia, aby „transpondér sekundárneho prehľadového radaru na palube lietadiel prelietajúcich nad územím členského štátu nebol vystavený neprimeraným výzvam vysielaným z pozemných vyzývacích zariadení, ktoré buď spôsobia odoslanie odpovede alebo v prípade nespôsobenía odoslania odpovede majú dostatočný výkon, aby prekročili minimálnu hraničnú úroveň prijímača transpondéra sekundárneho prehľadového radaru [4].“

Podľa Annex 10 zväzok IV k Chicagskemu dohovoru majú byť všetky lietadlové odpovedače v móde **A a C** schopné nepretržite generovať aspoň **500 odpovedí za sekundu** pri 15-pulzovej odpovedi. Zároveň platí, že odpovedače používané výlučne pod 4500 m (15000 ft), prípadne pod nižšou výškou, určenou príslušným úradom alebo regionálnou navigačnou dohodou a pracujúce na lietadlách s maximálnou cestovnou TAS najviac 175 kt majú byť schopné generovať aspoň 1000 15-pulzových odpovedí za sekundu krátkodobo, po dobu 100 milisekúnd. V lietadlách operujúcich nad 4500 m (15000 ft), alebo lietadlách s maximálnou cestovnou TAS nad 175 kt majú byť odpovedače schopné generovať aspoň 1200 15-pulzových odpovedí za sekundu, po dobu 100 milisekúnd [5].

Pre odpovedače v móde S je Annexom 10 zväzok IV stanovená **minimálna možná intenzita odpovedí** nasledovne:

- **50 odpovedí** módu S v intervale **1 sekunda**
- **18 odpovedí** módu S v intervale **100 ms** (milisekúnd)
- **8 odpovedí** módu S v intervale **25 ms**
- **4 odpovede** módu S v intervale **1,6 ms**

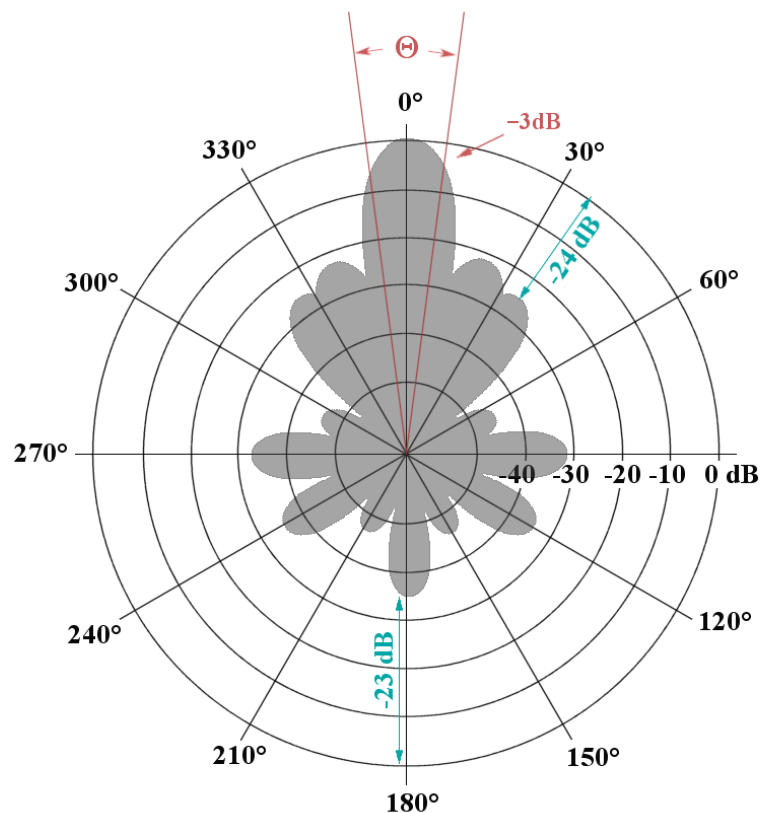
[5]

Antény systém odpovedača inštalovanom na lietadle má mať všesmerovú vyžarovaciu charakteristiku (v horizontálnej rovine).

2.3 Pozemné dotazovače SSR

2.3.1 Dotazy módu A a C

Nosná frekvencia dotazov je 1030 MHz s odchýlkou plus alebo mínus 0,2 MHz. Maximálna opakovacia frekvencia dotazovania pre dotazy kompatibilné s módmi A a C je v Annex 10 zväzku IV stanovená na 450 dotazov za sekundu. Zároveň je odporúčané, aby dotazovače používali čo najnižšiu opakovaciu frekvenciu, ktorú je prakticky možné použiť v rámci zobrazovacích charakteristík a tomu prispôbiť šírku vysielaného lúča radarom a rotačnú rýchlosť antény. Vyžarovací výkon by mal byť tiež znížený na najnižšiu možnú úroveň v súlade s potrebným dosahom radaru v prevádzkových podmienkach daných pre konkrétny dotazovač SSR. Postranné a zadné laloky smerovej antény majú mať vyžarovací výkon aspoň o 24 dB nižší, ako v strede hlavného laloku vyžarovania [5].



Obr. 2 Znárodnenie vyžarovania radaru v lalokoch

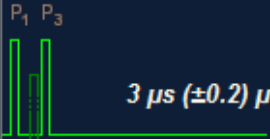
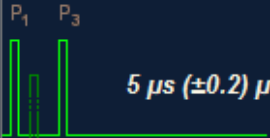
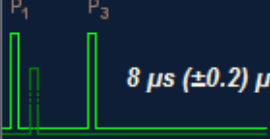
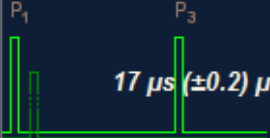

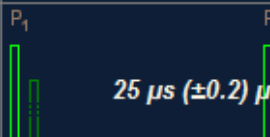
Zdroj: www.radartutorial.eu

Pre zaistenie integrity pozemného dotazovača SSR majú byť dosah vyžarovania a presnosť vyžarovaného azimutu monitorované v dostatočne častých intervaloch. To môže byť zabezpečené dvoma spôsobmi. Buď samostatným elektronickým monitorom dosahu a azimutu alebo v prípade zlúčených SSR spolu s PSR môže byť primárny radar použitý na monitorovanie systému [5].

Okrem monitorovania dosahu a azimutu by malo byť zabezpečené monitorovanie tiež ďalších dôležitých parametrov dotazovača indikujúcich prípadné zníženie výkonnosti pod prípustné odchýlky [5].

Tabuľka 1 Časové intervaly medzi jednotlivými pulzmi pri rôznych módoch

Zdroj: www.radartutorial.eu

Mode		Distance between P ₁ - P ₃
military	civil	
1		 $3 \mu s (\pm 0.2) \mu s$
2		 $5 \mu s (\pm 0.2) \mu s$
3	A	 $8 \mu s (\pm 0.2) \mu s$
	B	 $17 \mu s (\pm 0.2) \mu s$
	C	 $21 \mu s (\pm 0.2) \mu s$
	D	 $25 \mu s (\pm 0.2) \mu s$

2.3.2 Dotazy módu S

Nosná frekvencia dotazov je 1030 MHz (rovnako ako u módov A a C) s požadovanou presnosťou do plus alebo mínus 0,01 MHz.

Všeobecné dotazy – all – call perioda má obsahovať tri pulzy: P_1 , P_3 a dlhý P_4 . Podľa času medzi vyslaním pulzu P_1 a P_3 odpovedač určí, na čo ho SSR dotazuje. Ak je medzi P_1 a P_3 časová medzera 8 μs , SSR dotazuje na štvormiestny identifikačný kód módu A. Ak je medzi pulzami P_1 a P_3 časová medzera 21 μs , SSR dotazuje na tlakovú výšku v móde C. Pulzy samotné trvajú 0,45 μs . Pulz P_2 sa používa kvôli potlačeniu nežiadúcich odpovedí odpovedačov lietadiel na dotazy zachytené od postranných lalokov. Trvanie jednotlivých pulzov je presne určené. Podľa kontrolných pulzov je pomenovaná aj kontrolná anténa, ktorá pulzy emituje a tiež sa nazýva aj SLS anténa – side lobe suppression). Je navrhnutá tak, aby pokryla postranné laloky hlavnej, dotazovacej antény. Kontrolný pulz (pulzy) funguje tak, že ak amplitúdovo v mieste odpovedača prekračuje zasociovaný dotazovací pulz, odpovedač toto zistí a potlačí odpovede k týmto dotazom v postranných lalokoch [3],[6].

3 ODPOVEDAČ

Odpovedač je nevyhnutným vybavením lietadiel v letiacich v riadenom vzdušnom priestore. Jeho základnou úlohou je prijímať signály z pozemných dotazovačov sekundárnych radarov a vysielat' na ne odpovede. Tým sa zabezpečuje získanie prehľadovej informácie vzdušného priestoru pre poskytovanie letových prevádzkových služieb. Historicky pochádza z vojenských potrieb keď bolo treba odlíšiť vlastné lietadlá od nepriateľských. Z vojenského prostredia sa jeho využitie rozšírilo do civilného letectva.

Ako základ identifikácie bol od začiatku používaný kód módu A, takzvaný squawk (názov vznikol v Británii) ktorý odpovedač vysielal. Riadiaci letovej prevádzky pridelil cez rádio lietadlu konkrétny squawk, ktorý pilot na palube nastavil. Riadiaci potom na obrazovke podľa kódu pri zobrazenom ciele identifikoval konkrétne lietadlo. Dnes je v letectve pridelovanie squawkov a identifikácia lietadiel jeden zo základných používaných postupov. Nariadenie EÚ 1207/2011 stanovuje požiadavku, že všetky lety podľa prevádzky GAT (general air traffic) pri lete podľa pravidiel IFR v EÚ majú byť vybavené odpovedačmi s módom S. Odpovedač je nevyhnutný aj pre možnosť fungovania systému TCAS (ACAS).

Podľa pôvodne zaužívaných postupov a predpisov má byť odpovedač po pristátí a uvoľnení vzletovej a pristávacej dráhy vypnutý (alebo v režime standby). Dnes, hlavne na väčších letiskách, sa používajú systémy Airport Surface Detection Equipment a Advanced Surface Movement Guidance and Control System (označenie pre systém využívajúci, ktoré ako SSR, používajú odpovede odpovedačov lietadiel na prehľad o pozemnej prevádzke a tým zvýšenie efektivity a bezpečnosti. Tieto letiská teda majú, naopak, zavedené postupy, v ktorých sú stanovené podmienky zapnutého odpovedača aj pri rolovaní = pojíždění. Túto informáciu je možné často počuť aj v rámci vysielania ATIS daného letiska.

V civilnom letectve sa používa u odpovedačov niekoľko funkčných módov. Módy 1 a 2 sú vojenské. Je vhodné tiež spomenúť, že „odpovedače“ v armáde sú väčšinou prístroje rôznorodého použitia a neslúžia len na samotný účel identifikácie (či už užšej alebo širšej (mód S)). V móde 1 sa nastavoval dvojčíselný kód podľa druhu misie. V móde 2 sa už používali štvorčíselné kódy, podľa niektorých zdrojov väčšinou registračné číslo lietadla. Múd 3 sa už používa v armáde aj civilnom letectve a pod neho patria módy A a C.

Podstatou módu A je identifikácia štvorčíselným kódom, prideleného buď ATC alebo nastaveného podľa činnosti lietadla. V móde C je navyše vysielaná tlaková výška vzťahovaná k štandardnému tlaku, 1013,25 hPa. To znamená, že výška, ktorú SSR od odpovedača v móde C prijme, bude vždy výška nad tlakovou hladinou 1013,25 hPa, nezávisle od nastavenia výškomera v lietadle. V niektorých softvéroch sa tento mód označuje Mód 3/C. Mód 4 je opäť vojenský s trojpuľznými odpoveďami a je zabezpečený kódovaním signálu. Mód 5 je vojenská zabezpečená verzia módu S vrátane ADS-B vysielania polohy. Posledný samostatný mód je mód S používaný vojenskými aj civilnými lietadlami. Jeho podstatným zlepšením oproti predošlým módom je prenos dát. Dá sa povedať, že v získaní prehľadových informácií pre ATC tento mód spôsobil revolúciu. Ten ako identifikáciu lietadla v základe používa 24-bitovú ICAO adresu, ktorá je pridelená odpovedaču každého konkrétneho lietadla a umožňuje selektívne dotazy [7].

Ak má lietadlo vo výbave prevádzkyschopný odpovedač, pilot ho má používať nepretržite počas letu, bez ohľadu na to, či je lietadlo v alebo mimo vzdušného priestoru, kde sa pre účely letových prevádzkových služieb používa SSR. Okrem prípadov stavu núdze, zlyhania komunikácie alebo protiprávneho zásahu má pilot:

- a) používať odpovedač s kódom módu A nastaveným podľa nariadenia strediska ATC, s ktorým je práve v spojení, alebo
- b) používať odpovedač s kódom módu A nastaveným podľa predpisu regionálnej navigačnej dohody, alebo
- c) pri absencii nariadení od ATC alebo regionálnej navigačnej dohody, používať odpovedač s kódom módu A 2000 [9].

V ČR „piloti neriadených letov VFR vybavených odpovedačom SSR v móde A a C musia nastaviť kód 7000, ak im stanovište ATS nepridelilo iný kód. SSR kód pridelený stanovišťom ATS musí byť lietadlom udržiavaný do ukončenia letu alebo do príkazu stanovišťa ATS ku zmene alebo vypnutiu. Piloti lietadiel vybavených odpovedačom SSR v móde S, majúcich schopnosť identifikácie lietadla, musia na odpovedači nastaviť identifikáciu lietadla. Ak bude podaný letový plán, musí nastavenie presne odpovedať identifikácii lietadla, uvedenej v poli 7 letového plánu [10].“

Zvyčajne je kód odpovedača SSR módu A letu pridelený pred odletom alebo pri prvotnom vstupe do presne definovaného vzdušného priestoru. Kód je do odpovedača zadaný pilotom. Kód odpovedača je zaznamenaný aj v korešpondujúcom letovom pláne. Korelácia cieľu („tracku“) s letovým plánom tiež umožňuje riadiacemu prístup k letovým údajom asociovaným s lietadlom zobrazeným na obrazovke. Kód módu A je uvoľnený k opätovnému použitiu keď lietadlo dorazí do plánovanej destinácie alebo opustí daný priestor pod pôsobnosťou ATC [17].

Celkovo je 4096 kódov módu A, samozrejme menej z nich je dostupných na bežné použitie, keďže niektoré z nich sú rezervované pre zvláštne použitie. Napríklad lety bez podaného letového plánu majú použiť určené kódy (najznámejšie 1200, 2000, 7000 podľa oblasti). Počet dostupných kódov implikuje ťažkosti vo viacerých častiach sveta s hustou letovou prevádzkou. Pre dosiahnutie efektivity v používaní kódov módu A boli stanovené v rôznych oblastiach sveta dohody o ich pridelovaní [17].

S príchodom dotazovania a odpovedačov v móde S a ADS-B kódy v móde A z veľkej časti stratili význam. Mód S, multilateračné prehľadové systémy a ADS-B umožňujú získať identifikáciu od lietadla priamym spôsobom. Mód S tiež rieši spomenutý problém s nedostatkom kódov v móde A a tiež umožňuje zobrazenie pokročilých informácií o lietadle u letov pre ktorý nebol podaný letový plán. Riadiaci môže tak identifikovať cieľ rýchlejšie a disponuje viacerými údajmi o lietadle využiteľnými v rôznych situáciách [17].

„Členské štáty EÚ majú zaistiť, aby odpovedač sekundárneho prehľadového radaru na palube všetkých lietadiel prelietavajúcich cez členský štát nebol vystavovaný nadmernému počtu dotazov, ktoré sú vysielané pozemnými dotazovačmi prehľadového radaru a ktoré buď vyvolávajú odpovede, alebo odpovede nevyvolávajú, ale majú dostatočný výkon na to, aby prekročili minimálnu prahovú úroveň prijímaču odpovedača sekundárneho prehľadového radaru [4].“

Ak nebol podaný letový plán, má odpovedač módu S vysielat' poznávaciu značku lietadla (registrová značka) [10].

VFR lety letiace **mimo** vzdušného priestoru, kde je povinný odpovedač módu S, vo FIR Praha teda do FL 095 okrem TMA Praha a CTR Ruzyně musia mať na palube funkčný odpovedač SSR s módom A a C tieto lety:

- a) všetky motorové lietadlá a balóny podľa pravidiel VFR v a nad FL 060, alebo ak je prevodná hladina FL 070, v a nad nadmorskou výškou 5000 ft AMSL,
- b) všetky traťové lety podľa pravidiel VFR v noci [10].

Stanovište ATC môže povoliť výnimku z povinnosti vybavenia lietadla odpovedačom SSR v móde A/C s ohľadom na prevádzkovú situáciu, avšak na základe žiadosti posádky lietadla predloženej pred vstupom do priestoru zodpovednosti daného stanovišťa. Výnimka na vybavenie odpovedačom SSR v móde S Elementary Surveillance platí pre prevádzkovateľov lietadiel na lety balónov a vzducholodí uskutočňovaných v CTR Ruzyně [10].

Ďalšie výnimky na vybavenie odpovedaču s módom S (ELS/EHS) môže ĽLP udeliť pre jednotlivé lety uskutočňované za účelom letových testov alebo letov lietadiel z výroby a z/do opravovní. Lietadlá, ktorým je udelená výnimka na mód S Elementary Surveillance, musia byť vybavené odpovedačom SSR s módom A a hlásením tlakovej nadmorskej výšky v móde C. Štátne lietadlá, ktoré nie sú vybavené odpovedačom módu S Elementary Surveillance alebo Enhanced Surveillance, sú trvalo oslobodené od povinnosti vybavenia odpovedačom módu S Elementary Surveillance alebo Enhanced Surveillance, avšak platí pre nich povinnosť vybavenia odpovedačom s módom A/C [12].

Ak má lietadlo vo výbave prevádzkyschopný odpovedač s módom C, pilot má súvisle používať tento mód, ak mu stredisko ATC nenariadilo inak. Pri žiadosti od ATC „potvrdiť squawk“, má pilot:

- a) skontrolovať zvolený kód odpovedača,
- b) znovu nastaviť pridelený kód ak je treba,
- c) potvrdiť stanovištiu ATC nastavený kód na zobrazení odpovedača [9].

Pilot nemá používať funkciu squawk ident odpovedača bez vyzvania ATC [9].

3.1 Kódy odpovedača vo svete

Squawk sa aj bez pridelenia orgánmi ATC nastavuje podľa situácie a vzdušného priestoru, v ktorom sa lietadlo nachádza podľa predpisov. Štvorčíselný kód odpovedača sa zároveň dá použiť ako spôsob jednoduchšej komunikácie s ATC v krízových situáciách. Napríklad:

- 0000 – v USA kód pre vojenského „interceptora“
- 0025 – v Nemecku pri vykonávaní výsadku
- 0033 – v Británii pri vykonávaní výsadku
- 1000 – v Kanade pre lety IFR pod 18000 ft, ktorým nebol pridelený iný kód; v štátoch ICAO vyhradený pre použitie vo vzdušnom priestore s povinným módom S / ADS-B, kde je identifikácia lietadla (24-bitová adresa) používaná na koreláciu letových plánov v FDPS namiesto štvormiestneho kódu módu A
- 1200 - kód pre VFR lety, ktorým nebol pridelený iný kód, v USA, Kanade; v Austrálii VFR lety v triedach E a G
- 1202 – kód pre VFR lety vetroňov, ktorým nebol pridelený iný kód, v USA
- 1255 – lety, ktoré nie sú v kontakte so stanovišťom ATC a letia z / na / v oblasti aktuálne určenej na boj s požiarom v USA
- 1276 – pri neschopnosti nadviazať spojenie s ATC pri prelete air defense identification zone (ADIZ) v USA
- 1277 – VFR lety US Air Force a US Coast Guard pod autorizovanými úlohami pátrania a záchrany pri lete na / z pátracej oblasti
- 1400 – kód pre VFR lety nad 12 500 ft AMSL, ktorým nebol pridelený iný kód, v USA; VFR lety nad 10000 ft AMSL v Japonsku, ak nebol pridelený iný
- 2000 – kód pre všetky lety, ktorým nebol pridelený iný kód v štátoch ICAO a v USA, v praxi v oceánskych oblastiach, pri prechode z oblasti bez SSR do SSR oblasti; v Kanade IFR v neriadenom vzdušnom priestore v a nad 18000 ft, v Austrálii lety IFR v priestoroch triedy G
- 2100 – v Austrálii pozemné testovanie odpovedača; v USA tiež pre lety v oceánskom vzdušnom priestore, ktorým nebol pridelený iný kód
- 2200, 2300, 2400 – ďalšie oceánske kódy v USA, ak nie je pridelený iný
- 3000 – kód pre lety v triedach A, C alebo D alebo IFR lety v triede E v Austrálii

- 4000 – kód pre vojenské výcvikové VFR lety, od ktorých sa dajú očakávať náhle zmeny letovej výšky, prípadne oceánske lety bez iného kódu; v Austrálii civilné lety, okrem špeciálnych operácií a SAR, letiace ďalej ako 15 NM od pobrežia v triede G
 - 4400 až 4477 – v USA vyčlenené pre špeciálne druhy vojenských lietadiel, lety nad FL 600 a podobne, napr. 4434 až 4437 lety na prieskum počasia, 4447 až 4452 pre SR-71 a U-2 a podobne
 - 5000 – vojenské lety v triedach A, C, D alebo E v Austrálii
 - 6000 - vojenské lety v priestore triedy G v Austrálii
 - 7001 – vo Veľkej Británii vojenské lety s náhlým stúpaním
 - 7003 – vo Veľkej Británii vyčlenený pre Red Arrows – display / prelet
 - 7004 – vo Veľkej Británii akrobacia – display / nácvik
 - 7100 – lety pre pátranie a záchranu vo Švajčiarsku
 - 7615 – kód pre pobrežné prieskumné lety v Austrálii
 - 7000 – kód pre VFR lety, ktorým nebol pridelený iný kód, v členských štátoch ICAO; ale v Austrálii UAV
 - 7500 – používa sa pri únose alebo inom protiprávnom zasahovaní na palube lietadla
 - 7600 – používa sa a má sa použiť v prípade straty rádiového spojenia s príslušným strediskom ATC
 - 7700 – používa sa a má sa použiť v stave núdze
- [7],[11],[15]

Kód 2000 stanovuje predpis PANS-ATM (ICAO Doc 4444) a podľa ICAO North Atlantic Operations and Airspace Manual majú piloti letiaci vo FIRoch severného Atlantiku nastaviť squawk 2000 ak im nie je pridelený iný a to 30 minút po vstupe do takého FIRu.

Kódy 7500, 7600, 7700 sú pre kritické situácie stanovené aj v predpise PANS-ATM (ICAO Doc 4444) a tieto tri kódy sú zrejme jediné používané globálne bez výnimok s rovnakým významom.

Ak je lietadlo počas letu vystavené protiprávnemu zásahu, pilot zodpovedný za bezpečné vykonanie letu (PIC) sa má pokúsiť nastaviť odpovedač do módu A s kódom

7500, aby takto informoval o situácii orgány riadenia. Ak si to okolnosti vyžadujú namiesto 7500 by sa mal použiť kód 7700. Ak po zvolení A 7500 ATC vyzve pilota o potvrdenie tohto kódu, pilot má v závislosti na okolnostiach buď potvrdiť ho, alebo vôbec na prenos nereagovať. V druhom prípade to bude ATC brať rovnako ako potvrdenie nezákonneho zásahu a nie ako chybné nastavený kód [9].

Ak pilot lietadla stratí obojstranné rádiové spojenie, má nastaviť odpovedač do módu A, kód 7600. Riadiaci letovej prevádzky, ktorý spozoruje vysielanie odpovedača v tomto kóde, určí rozsah straty spojenia nariadením pilotovi k identifikácii (squawk ident), alebo zmeniť kód odpovedača. Ak zistí, že rádiový prijímač lietadla funguje, pilot má potvrdzovať prijatie povolení zmenami kódu alebo identifikáciou (squawk ident). Pri lietadlách vybavených módom S sa môžu aplikovať rozdielne postupy [9].

Pilot lietadla v stave núdze má nastaviť odpovedač na mód A, kód 7700, ak mu ATC predtým nepridelilo iný kód. Vtedy má pilot pokračovať s kódom odpovedača, ktorý mu nariadilo stredisko ATC, až kým nedostane od ATC inštrukcie nastaviť na odpovedači iný kód. Pilot však môže použiť kód odpovedača 7700 vždy, ak zo špecifických okolností usúdi, že je to najlepšia možnosť [9].

3.2 Kódy odpovedača v ČR

Rozdelenie a pridelovanie kódov SSR sa v Českej republike uplatňuje v súlade s postupmi v prílohe Európskeho regionálneho navigačného plánu, dokumentu SSR Code Allocation List for the EUR Region [13].

Tranzitná prevádzka (v móde A):

- 1401 – 1477
- 5170 – 5177
- 6620 – 6637

Vnútroštátna prevádzka (v móde A):

- 3301 – 3377
- 0020 – 0037 – iba pre lety v rámci CTA 2 Brno a CTA 2 Ostrava

Kódy stanovené pre zvláštne účely:

- 0000 – kód určený pre pozemné skúšky odpovedačov SSR
 - 7777 – kód určený pre pozemné monitorovacie odpovedače SSR
 - 1000 – indikačný kód módu S
 - 2000 – nastavuje veliteľ lietadla riadeného letu, vždy, ak nebolo stanovišťom ATC určené inak
 - 7000 – nastavuje veliteľ lietadla neriadeného letu VFR, ak nebolo stanovišťom ATC určené inak
 - 0040 – lety za účelom pátrania a záchrany lietadiel, nastavuje veliteľ lietadla z vlastného rozhodnutia, ak nebolo stanovišťom určené inak
 - 0041 – 0044 – lety za účelom pátrania a záchrany lietadiel, prideluje stanovište ATS, ak to odpovedá účelu letu
 - 0045 – lety pre záchranu ľudského života, nastavuje veliteľ lietadla z vlastného rozhodnutia, ak nebolo stanovišťom ATS určené inak
 - 0046 – 0047 – lety pre záchranu ľudského života, prideluje stanovište ATS, ak to odpovedá účelu letu
 - 0052 a 0053 – lety vrtuľníkov Policie ČR vo dne, nastavuje veliteľ lietadla z vlastného rozhodnutia, ak nebolo stanovišťom ATS určené inak
 - 0054 a 0055 – lety vrtuľníkov Policie ČR v noci, nastavuje veliteľ lietadla z vlastného rozhodnutia, ak nebolo stanovišťom ATS určené inak
 - 0056 a 0057 – lety Úradu pre civilné letectvo – overovacie lety
- [13]

Vybavenie a používanie módu S na úrovni 2 s funkčnosťou Elementary Surveillance je povinné pre **IFR lety** vo FIR Praha:

- a) **vrtuľníky** bez ohľadu na MTOW,
- b) letúne s maximálnou schválenou MTOW **5700 kg a menej** alebo s maximálnou cestovnou TAS **250 kt a menej** [12]

Okrem riadeného vzdušného priestoru vo FIR Praha triedy C nad FL 095 je odpovedač módu S s funkčnosťou Elementary Surveillance povinný, aj pre lety VFR, v **TMA Praha** a **CTR Ruzyně** [10].

Vybavenie a používanie módu S s funkčnosťou Enhanced Surveillance na odpovedači lietadla je povinné pre všetky lietadlá s pevnými nosnými plochami podľa pravidiel IFR vo FIR Praha s maximálnou schválenou vzletovou hmotnosťou **prevyšujúcou 5700 kg** alebo s maximálnou cestovnou TAS **väčšou ako 250 kt** [12].

Postupy pri zlyhaní odpovedača v situácii, keď je používanie odpovedača povinné

V prípade zlyhania odpovedača po odlete, stanovišťa ATC sa majú pokúsiť zabezpečiť pokračovanie lietadla v lete do cieľového letiska podľa letového plánu. Piloti však môžu očakávať nutnosť splniť špecifické podmienky a obmedzenia.

Piloti majú v prípade zlyhania funkčnosti odpovedača a ak nemôže byť opravený, pred letom:

- informovať o tom ATS čo najskôr, podľa možností pred podaním letového plánu,
- do poľa 10 letového plánu ICAO vložiť ku SSR písmeno N ako úplnú neschopnosť odpovedača prevádzky, alebo v prípade čiastočného zlyhania odpovedača, vložiť písmeno korešpondujúce so zostávajúcimi schopnosťami odpovedača,
- vykonať akékoľvek publikované postupy požadované pre výnimku z povinnosti mať vo výbave lietadla funkčný odpovedač SSR,
- ak je požadované príslušným poskytovateľom letových prevádzkových služieb (ATS), naplánovať čo najpriamejšiu trať na najbližšie vhodné letisko, kde môže byť vykonaná oprava odpovedača [9].



Obr. 3 Panel odpovedača G7156-01 s módom S a TCAS používaný v Boeingu 777

3.3 Prevádzka systému Airborne collision avoidance system

ACAS je systém, založený na signáli odpovedača sekundárneho prehľadového radaru, ktorý operuje nezávisle od pozemných zariadení s cieľom poskytnúť pilotovi radu pri potenciálnych konfliktoch s inými lietadlami, ktoré sú vybavené odpovedačmi sekundárneho prehľadového radaru .

Rady systému Airborne collision avoidance system (ACAS (TCAS)) majú byť používané pilotmi na vyhnutie sa potenciálnym kolíziám a zvýšenie situačného povedomia a na aktívne vyhľadávanie a vizuálne získanie prehľadu o konfliktnej prevádzke v blízkom vzdušnom priestore. Piloti zodpovední za bezpečné vykonanie letu (PIC) majú ale stále pri riešení konfliktov s inou prevádzkou uplatňovať svoj úsudok a plnú právomoc pri výbere najlepšieho postupu na odvrátenie konfliktov a potenciálnych kolízií [9].

Piloti nemajú meniť letovú dráhu lietadla iba na základe informácie traffic advisory (TA) na ACASe. Tá má pilotov iba upozorniť a pripraviť na možnú resolution advisory (RA (rada na vyhnutie sa)). Traffic advisory tiež zvyšuje povedomie pilotov o ostatnej prevádzke. Je treba byť ostražitý pri vizuálnom identifikovaní ostatných lietadiel podľa TA a naopak, keďže piloti nemusia vždy vidieť práve lietadlo, o ktorom ich informovala TA na ACASe a môžu sa dostať do mylnej predstavy o situácii, ktorá neexistuje. Na správne "spárovanie" vizuálneho vnemu s informáciou TA je treba dávať pozor hlavne v noci. Na traffic advisory (TA) prístroja ACAS majú piloti reagovať prípravou na adekvátnu činnosť ak dostanú aj resolution advisory (RA).

V prípade resolution advisory (RA), majú piloti:

1. okamžite zareagovať nasledovaním rady RA, pokiaľ to neohrozí bezpečnosť lietadla (varovanie pred pádom, strihom vetra, varovania GPWS, majú prednosť pred varovaniami ACASu)
2. nasledovať radu RA, a to aj v prípade, že je rozpor medzi RA od ACASu a inštrukciami ATC na vyhnutie sa
3. nevykonávať manévry opačného zmyslu ako radí RA

4. čo najskôr, ak to dovoľuje operatívne zaťaženie letovej posádky, upovedomiť stanovište ATC o RA vrátane odchýlky od inštrukcií alebo povolenia ATC (*aby ATCO vedel, čo má od pilota očakávať, o aktivovaní RA v lietadle sa môže prípadne dozvedieť aj vďaka dátam v rámci módu S*)
5. promptne konať v súlade s možnými pozmenenými RA
6. obmedziť zmeny letovej dráhy na minimálnu mieru ako je nevyhnutné pre vyhovenie RA
7. keď je konflikt vyriešený, promptne prinavrátiť let do stavu v súlade s prijatými inštrukciami ATC
8. upovedomiť stanovište ATC o návrate k letu podľa ním vydaných povolení [9].

Tabuľka 1 ukazuje, do akej miery je systém TCAS (ACAS) schopný varovať pred hroziacimi konfliktmi, podľa vybavenia lietadla, s ktorým hrozí konflikt. Systém TCAS (ACAS) totiž neposkytuje varovania iba pred lietadlami vybavenými tiež TCASom, ale pre zabezpečenie základných funkcií stačí, že má druhé lietadlo fungujúci odpovedač. To je aj jeden z dobrých dôvodov, prečo je žiadúce mať na lietadle palubný odpovedač počas letu zapnutý v riadenom, aj neriadenom vzdušnom priestore. Stačí, ak má konfliktné lietadlo odpovedač s aktívnym módom C a lietadlo s TCASom je schopné informovať svoju posádku o prevádzke, jej výške, trend (či sa rozdiel výšok znižuje / zväčšuje) a pri nebezpečnom zblížení aj radu na vertikálne vyhnutie sa. Pilot lietadla za pravidiel IFR s TCASom sa tak môže napríklad úspešne vyhnúť menšiemu lietadlu letiaceho za vidu, ktoré sa neželane dostalo do mrakov alebo ktorého pilot v rušnej situácii zabudol venovať pozornosť okolitému priestoru vonku. Pre koordinovanú radu na vyhnutie (resolution advisory) podľa vzájomného pohybu lietadiel, aby sa nezačali piloti vyhýbať rovnakým (obaja začnú stúpať), alebo nevýhodným spôsobom, musia mať TCAS obe lietadlá.

Tabuľka 2 Schopnosti TCAS (ACAS) varovať pri rôznom vybavení konfliktného lietadla

Zdroj: <https://www.skybrary.aero/index.php/Transponder>

Vybavenie druhého lietadla	Dotazovacie lietadlo s TCASom
Iba odpovedač s módom A	Nezachytí druhé lietadlo
Odpovedač s módom A/C bez hlásania výšky	Pod FL 155 obdrží iba traffic advisory (TA) bez zobrazenia výšky alebo trendovej šípky; Nad FL 155 sa cieľ nezobrazí
Odpovedač s módom C alebo S	Obdrží traffic advisory (TA) a vertical resolution advisory (RA)
TCAS	Obdrží TA a koordinovanú vertical RA

4 ODPOVEDAČE V PRAXI

4.1 Garmin GTX 327



Obr. 3 Garmin GTX 327 popis

Zdroj: GTX 327 Transponder Installation Manual a vlastná tvorba

Garmin GTX 327 je palubný odpovedač vysielaajúci odpovede v módoch A a C, poskytuje letovým prevádzkovým službám teda identifikáciu vo forme štvormiestneho kódu a tlakovej výšky. Je široko rozšírený medzi športovými lietadlami.

Odpovedač sa zapne pri stlačení tlačidiel **STBY**, **ALT** alebo **ON** (alebo úsekovým spínačom ak sa aplikuje v konkrétnom lietadle) a načíta sa posledný aktívny squawk. Prístroj by mal byť pred štartovaním motora lietadla vypnutý. Tlačidlom **OFF** sa odpovedač GTX 327 vypne. Ak sa počas zapínania detekuje vnútorná vada odpovedača, zobrazí sa na displeji „SELF TEST FAILED“ [18].

Tlačidlá pre výber módu:

STBY – prepnutie do pohotovostného „standby“ módu, odpovedač je zapnutý, ale neodpovedá na dotazy SSR.

ON – voľba vysielania iba v móde A. Odpoveď neobsahuje informáciu o výške. Odpovedanie na dotazy je indikované písmenom „R“ v kruhu v ľavej časti displeja.

ALT – voľba vysielania v móde A a C. Odpovedanie na dotazy je indikované písmenom „R“ v kruhu v ľavej časti displeja. Odpovede obsahujú tlakovú výšku podľa štandardného tlaku (neopravenú podľa atmosferického tlaku) z externého zdroja údaju nadmorskej výšky (ak je pripojený). Odpovedač tiež odpovedá na dotazy lietadiel vybavených TCASom [18],[19].

Nastavenie kódu:

Kód odpovedača sa nastavuje ôsmimi tlačidlami (**0 – 7**). Stlačenie jedného z týchto tlačidiel prepne odpovedač do režimu zmeny kódu. Číslice, ktoré nie sú ešte vybraté, sa zobrazia ako pomlčky. Nový kód je aktivovaný po vložení štvrtej číslice. Pri stlačení tlačidla **CLR** sa kurzor vráti pre zadanie predchádzajúcej číslice. Pri stlačení **CLR** alebo **CRSR**, keď je kurzor na prvej číslici, zruší zmenu kódu a nastavený ostane predchádzajúci kód. Ešte päť sekúnd po navolení kódu môže byť tlačidlom **CRSR** kurzor vrátený na zmenu poslednej číslice. Tlačidlá s číslicami 8 a 9 nie sú použiteľné na nastavenie kódu odpovedača, iba na vloženie času časovača a nastavenie kontrastu a jasnosti displeja [18].

Ďalšie funkcie:

IDENT – stlačenie aktivuje „special position identification“ pulz na 18 sekúnd, pre identifikáciu lietadla medzi ostatnými na obrazovke riadiaceho letovej prevádzky. V ľavom hornom rohu displeja odpovedača sa zobrazí nápis „IDENT“.

VFR – nastaví kód odpovedača, ktorý je preprogramovaný v prístrojipre danú oblasť (1200 / 7000). Opätovné stlačenie tlačidla **VFR** obnoví predošlý kód odpovedača.

FUNC – mení funkciu zobrazenú v pravej časti displeja. Prepína sa medzi tlakovou výškou, letovou dobou, stopkami a časovačom.

START / STOP - slúži na spustenie a zastavenie časovaču, stopiek a doby letu

CRSR – prepne do voľby času v časovači a zruší vkladanie kódu odpovedača

CLR – resetuje stopky, časovač, dobu letu. Ruší predošle zadanú číslicu pri zmene kódu a nastavovaní časovača; vráti kurzor na poslednú číslicu kódu do piatich sekúnd po zadaní [18].

Indikátor tendencie stúpania / klesania

Ak je v pravej časti displeja zvolená tlaková výška, vpravo od nej sa môže zobrazovať šípka indikujúca klesanie alebo stúpanie. Šípka môže mať podľa vertikálnej rýchlosti dve rôzne veľkosti. Citlivosť šípok je nastavená pri inštalácii odpovedača [18].

Automatické prepínanie módu STBY/ALT

Ak je GTX 327 nakonfigurovaný s automatickým rozpoznaním vzletu, mód C (ALT) je automaticky navolený keď je detekované odpútanie sa od zeme. Keď je lietadlo na zemi, odpovedač automaticky zvolí režim standby a zobrazí „STBY“ na displeji. Neodpovedá na dotazy a lietadlo teda nie je systémami riadenia letovej prevádzky rozpoznané. Keď prístroj detekuje, že je vo vzduchu, samočinne prepne do módu C (ALT). To zistí, ak je tak pri konfigurácii prístroja nastavené, na základe viacerých vstupov, medzi nimi GPS ground speed a zmena tlakovej výšky s nastavením citlivosti. Po pristátí a uplynutí nastaveného času sa prístroj môže znovu automaticky prepnúť do režimu standby. Táto detekcia vzletu je použiteľná aj pri funkcii accumulate, keď sa automaticky meria doba letu [18],[19].

Podpora ADS-B

Odpovedač GTX 327 podporuje vysielanie údajov ako poloha, rýchlosť, kurz prostredníctvom GDL 90 Universal Access Transceiver (UAT) vysieláča (potrené nainštalovať). Prostredníctvom ADS-B In technológie je tak možné získať polohu aj ďalším lietadlám vo vzdušnom priestore (ak majú príslušné navigačné vybavenie ADS-B In) a tým zvýšiť ich situačné povedomie a bezpečnosť [18].

Umiestnenie

Panel odpovedača by mal byť v kabíne umiestnený tak, aby bol zabezpečený prijateľný uhol pohľadu pilota na zariadenie. Bolo dokázané, že prístroj spĺňa špecifikácie pri pohľade v „pohľadovej obálke“ uvedenej v tabuľke.

Tabuľka 3 **Garmin GTX 327 Medzné hodnoty uhlov pohľadu**

Zdroj: Garmin: GTX 327 Transponder Installation Manual

Direction	Pilot's Viewing Angle
Left and Right	$\pm 45^\circ$
From Top	30°
From Bottom	10°

Anténa by mala byť kvôli tieneniu signálu umiestnená mimo výčnelkov ako napríklad motorové kryty, vrtule, alebo blízkosti iných antén. Tiež by mala byť dostatočne ďaleko od dvierok podvozku, prístupových dverí a ďalších otvorov, kde by dvierka a podobne mohli ovplyvňovať vyžarovaciu charakteristiku. Má byť umiestnená vertikálne na spodnej časti lietadla. Cieľom je zabezpečiť, aby okrem nezvyčajných letových polôh nebola počas letu smerom do diaľky k horizontu anténa tienená konštrukciou lietadla. Tým by sa mohol znížiť dosah signálu antény. Dosah rastie s nadmorskou výškou počas letu. Má byť umiestnená aspoň 3 stopy (90 cm) od antény ADF alebo inej komunikačnej antény a 6 stôp (182 cm) od antény DME. Na kompozitovom lietadle je potrebné pridať do materiálu okolo antény kovovú spleť, rozbiehavé lúče z kovu alebo tenkú hliníkovú fóliu aby sa zabezpečilo lepšie šírenie signálu [18],[19].

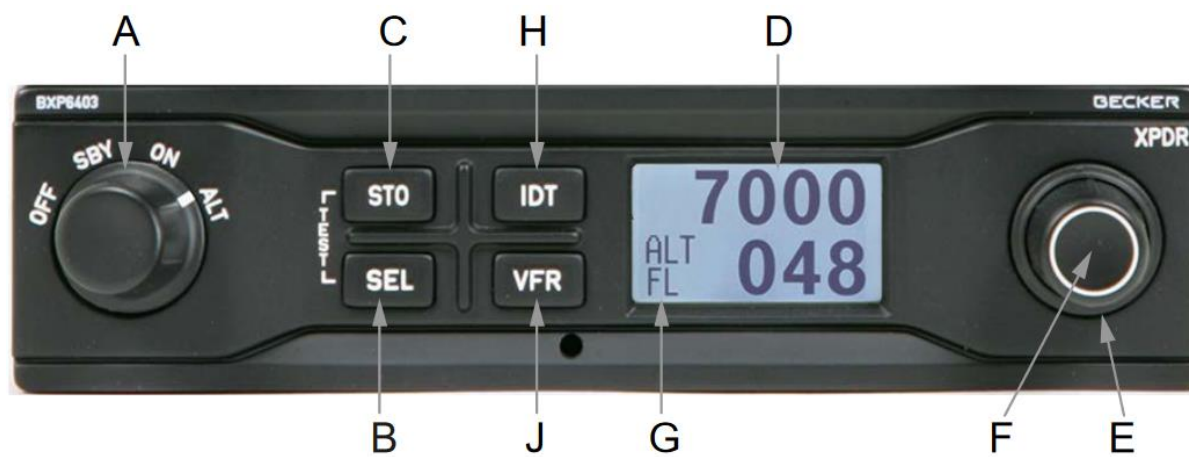
GTX 327 bol navrhnutý zvládať konštantne 450 PRF dotazov a krátke periody 1200 PRF čo je aj nastavený limit. GTX 327 má zabudovaný snímač teploty zariadenia a v prípade prehrievania bude množstvo odpovedí (reply rate) redukované.



Obr. 4 Umiestnenie antény odpovedača Garmin GTX 327 na spodnej strane trupu

Zdroj: www.matronics.com

4.2 Becker BXP 6403



Obr. 5 Becker BXP6403

Zdroj: *Transponder Mode S Level 2es BXP 6403 Installation and Operation Manual*

Becker BXP 6403 je lietadlový odpovedač s módmi A, C a S s podporou ADS-B (technológia Extended Squitter). S hmotnosťou 0,9 kg patrí ku ľahším odpovedačom, môže sa preto použiť aj v lietadlách, kde je hmotnosť zásadná.

Existujú dve operačné varianty BXP6403. Trieda (class) 1 s prevádzkovou nadmorskou výškou 50000 ft a trieda (class) 2 s prevádzkovou nadmorskou výškou 15000 ft. Po nainštalovaní odpovedača a jeho vybavenia musí byť skontrolovaný vyžarovací výkon na anténe. Trieda 1 musí vyžarovať výkonom 125 W (21 dBW) a trieda 2 musí vyžarovať výkonom 70 W (18,5 dBW) [20].

Pri zapnutí prístroja (volič z polohy **OFF** do **SBY**) prebehne automatický test pri zapnutí v trvaní 1 sekundy. Test oznamuje nápis „WAIT“ na displeji prístroja. Ak je test úspešný, zariadenie sa prepne do zvoleného módu. Test odpovedača je možné vyvolať aj počas jeho činnosti v móde „ON“ alebo „ALT“ súčasným stlačením tlačidiel **SEL** a **STO**. Testovanie potrvá 1 sekundu, test oznámi nápis „IBIT“ na displeji prístroja. Ak je test úspešný, zariadenie sa hneď prepne do normálneho prevádzkového módu. V prípade chyby pri testoch sa zobrazí nápis „FAILURE“ na displeji prístroja. V takom prípade je žiadúce vypnúť odpovedač (**OFF**) [20].

Podľa Obr. 5 sú funkcie tlačidiel:

- A** – volič módu, má 4 polohy:
- OFF** – vypne odpovedač
 - SBY** – prepne odpovedač do standby módu
 - ON** – zapne odpovedač do módu A + S. Vysielanie tlakovej výšky je vypnuté
 - ALT** – zapne odpovedač do módu A + C + S – plná funkčnosť
- B** – **SEL** - tlačidlo na otvorenie menu a potvrdzovanie v ňom
- C** – **STO** – tlačidlo na uloženie zvolených hodnôt do nastavení
- D** – prvá časť displeja – dvojriadkový LCD – zobrazuje informácie:
- zvolený kód odpovedača vo vrchnom riadku
 - letová hladina na spodnom riadku

- ďalšie informácie na spodnom riadku
- indikátory na ľavej strane

E – otočný volič – podobná funkcia ako **F**, ale krokovo – zmena v nastaveniach

F – tlačidlo podobnej funkcie ako **E**, skokovo prechod z jednej číslice na ďalšiu v nastaveniach, alebo z jedného menu do ďalšieho; tiež ako enter

G – druhá časť displeja – zobrazuje ďalšie indikátory:

- **R** – indikácia odpovede
- **ID** – vysielanie signálu „ident“
- **ALT** – režim odpovedača s vysielaním tlakovej výšky
- **ON** – režim odpovedača bez vysielania tlakovej výšky
- **FL** – zobrazenie letovej hladiny (podľa 1013,25 hPa)

H – IDT – tlačidlo aktivujúce vysielanie „ident“ (SPI) v trvaní 18 sekúnd, počas tohto času je na displeji zobrazené „ID“

J – VFR – navolí prednastavený VFR kód, zobrazí sa v hornom riadku displeja

Vo vrchnom riadku displeja je v módoch „SBY“, „ON“, a „ALT“ vždy zobrazený kód odpovedača. V spodnom riadku sa podľa konfigurácie zobrazuje identifikácia lietadla (symbol AI) alebo číslo letu (symbol FN).

Ak je na lietadle nainštalovaný buď ďalší odpovedač, alebo systém DME, mal by byť odpovedač spolu s týmito systémami prepojené systémom potlačenia signálu (external suppression).

Becker BXP6403 je kompatibilný so systémom automatickej detekcie lietadla na zemi, na základe snímača zaťaženia na podvozku. Pripojiteľný je aj zdroj polohy GPS.

Ako aj pri iných odpovedačoch, anténa má byť umiestnená tak, aby nebola v elektromagnetickom zákryte iných častí lietadla. Vhodné miesto je spodná časť trupu na horizontálnom a plochom mieste. Najväčší dosah sa dosiahne umiestnením na najspodnejšom bode trupu lietadla.

Panel je dobre čitateľný aj na slnku a môže byť osvetlený pre nočnú prevádzku.

5 VYŤAŽENIE, OBSADENOSŤ ODPOVEDAČA

ICAO Doc 9924 definuje vyťaženie / obsadenosť odpovedača (transponder occupancy) ako stav nedostupnosti odpovedača v čase od prijatia signálu indikujúceho nejakú činnosť, do času, kedy je znovu schopný odpovede na ďalšie dotazovanie (vrátane spätného oneskorenia, „mutual suppression“, času odpovede a prechodnej neaktivity) [17].

Toto vyťaženie sa väčšinou vyjadruje v percentách času.

Dostupnosť voľného času bez vysielania na frekvenciách 1030 a 1090 MHz v danom vzdušnom priestore závisí na počte a rozmiestnení lietadiel, pozemných dotazovačov a dotazovačov vo vzduchu a intenzita dotazov. Keďže dotazovače nie sú navzájom synchronizované, ktorý môže v akom čase dotazovať, dochádza k interferenciám, prijatiu odpovedí určených iným dotazovačom a niekedy k nevyslaniu odpovede na dotazy, kvôli zaťaženiu – obsadenosti iným dotazovačom. To môže mať za následok zníženie výkonnosti prehľadovej a navigačnej infraštruktúry podľa miery záťaže kanála, a tým pádom stratu údajov alebo prijatie nesprávnych údajov. Okrem interferencií to môže zapríčiniť aj skreslenie rádiového signálu v oboch smeroch (zem-vzduch / vzduch-zem), prekrytím rádiových signálov, čo môže sťažiť alebo znemožniť dekódovanie prichádzajúcich signálov. Obsadenosť odpovedača nedovoľuje prichádzajúcim dotazom vyvolať potrebnú odpoveď, takže sa informácia daného dotazu stratí. To sa môže stať počas režimu, keď je odpovedač potlačený kvôli činnosti iných zariadení a keď práve vysiela odpoveď inému dotazovaču [17],[21].

Interferenčné javy sú rozdielne pre rôzny smer signálu (zem-vzduch / vzduch-zem). V prostredí, kde sú vo vzdušnom priestore používané systémy s módom A/C a s módom S zároveň, účinok interferencie je pre tieto dva módy odlišný.

Odpovedaču **bránia spracovať** prichádzajúce 1030 MHz rádiové signály **nasledujúce prípady:**

- a) jeho činnosť je aktuálne potlačená jeho vlastným systémom (suppression bus) kvôli vysielaniu na frekvencii 1090 MHz inými vysielacími systémami (ACAS, DME, UAT)
- b) práve je v vysielacom cykle (čas od prijatia dotazu po neakceptovanie cudzieho dotazu alebo po ukončenie vysielania odpovede)
- c) je pod vplyvom páru P_1 a P_2 , ktorý potlačuje signál módu A/C keď je lietadlo blízko postranných lalokov (pod vplyvom bude v čase vysielania pulzov) [17].

5.1 Múd A a mód C

Odpovedač s módom A a C môže vyslať falošný dotaz ak sa dotaz módu C zdanlivo zmení na dotaz módu A. To sa môže stať keď po prvom originálnom P_1 pulze prijme odpovedač ďalší pulz, ale od **iného** dotazovača a ten „nešťastne“ pripadne presne na miesto 8 alebo 13 mikrosekúnd od P_1 pulzu z iného odpovedača. K interferencii môže dôjsť, aj keď pulz iného odpovedača pripadne pred pulz P_1 v móde A alebo C. Odpoveď môže byť vyslaná potom v nesprávnom móde [17].

5.2 Múd S

Keď je odpovedač módu S prevádzkovaný v oblasti s dotazovačmi iba pre mód A a C, okolnosti zapríčiňujúce interferencie sú identické so tými, ktoré platia pre odpovedače módu A/C. Zakomponovanie aj dotazovačov v móde S do systému sa každopádne prejaví na interferenčných procesoch, ktorých presný účinok a charakter závisí na veľkom množstve faktorov, napríklad pomeru počtu odpovedačov módov S a módov A/C v oblasti a konkrétnom použití protokole módu S. Účinky TCAS dotazov v takomto prostredí sa dajú v istom zmysle považovať za veľmi podobné tým, ktoré zapríčiňujú pozemné dotazovače módu S, ale môžu spôsobiť aj ďalšie mechanizmy interferencie [17].

5.3 Hlavný lúč

Odpovedač s módom S bude obsadený všetkými dotazmi módu S, ktoré mu budú adresované. All-call perioda samostatne a vysielanie dotazov tiež obsadí činnosť odpovedača. Činnosť odpovedača obsadia aj dotazy s dlhým P_4 pulzom. Obsadenosť

odpovedača oboma typmi all-call dotazov môže byť redukovaná použitím blokovacieho protokolu [17].

Odpovedač s módom S bude tiež vyťažený selektívnym dotazom pre iné lietadlo, pretože odpovedač musí tento dotaz úplne dekódovať, aby zistil, komu patrí 24-bitová adresa v správe. Keď odpovedač zistí, že dotaz je určený pre iný odpovedač, znovu sa vráti do normálneho režimu. Toto bežne trvá 45 μ s (**mikrosekúnd**) [17].

5.4 Bočné laloky

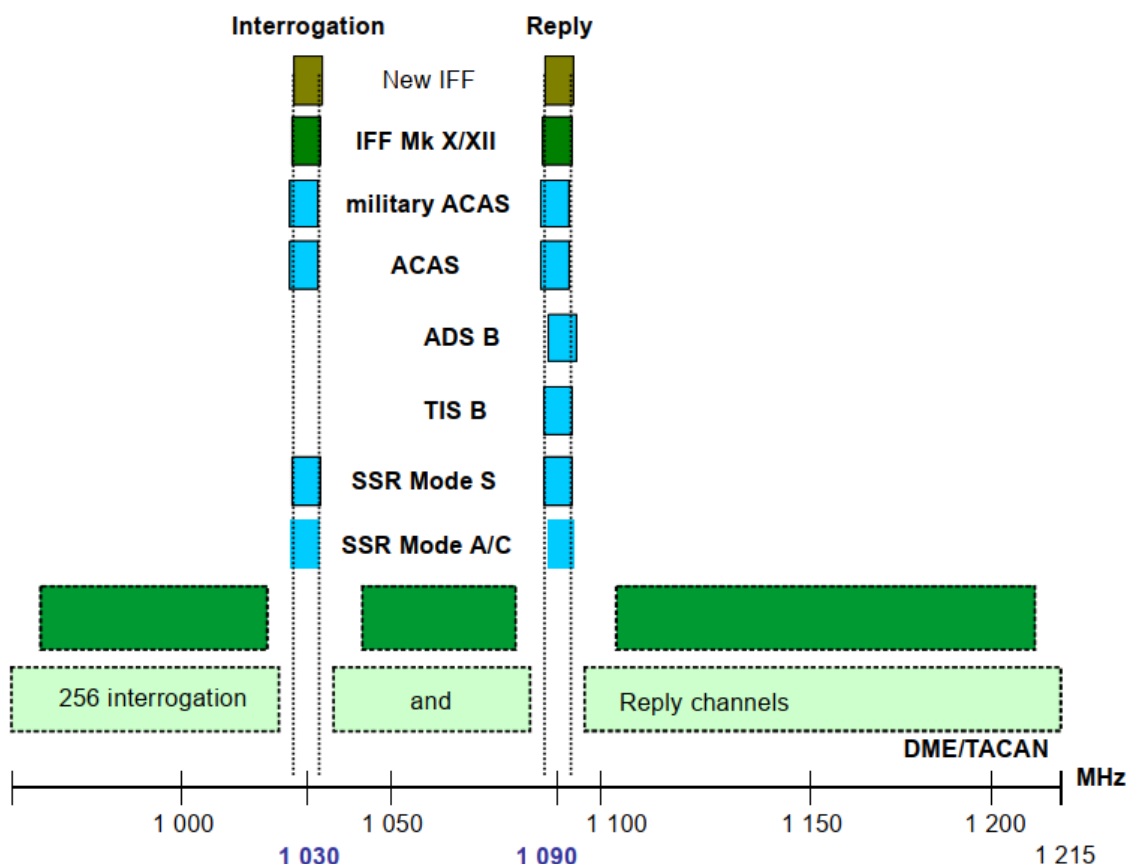
Odpovedač s módom S bude obsadený v prípade adresných dotazov módu S. To by sa za normálnych okolností **nemalo** stať v bočných lalokoch (vďaka kontrolným pulzom), ale bude vyťažený pre mód A/C počas prijatia každého páru P₁-P₂. Počas a po každom prijatí dotazov postranných lalokov a ich potlačenia módu S, odpovedač nebude schopný detekovať a reagovať na normálne platné dotazy **od iných dotazovačov**, ktoré sú pod aktuálnou úrovňou postranných lalokov až kým znovu nenadobudne plnú senzitivitu [17].

Odpovedač v móde A/C bude tiež obsadený všeobecnými dotazmi módu S a pri potlačovaní odpovedí na bočné laloky dotazov módu A/C [17].

5.5 Ostatné zariadenia na rovnakej frekvencii

V lietadle je niekoľko vysielacích zariadení, ktoré používajú frekvencie 1030 a 1090 MHz, alebo letecké pásmo okolo nich (napríklad DME, ACAS, odpovedač). Preto môže byť na lietadlách použitý systém potlačenia činnosti jednotlivých zariadení pre dobu, keď vysielajú iné zariadenie, ktoré by ho mohlo rušiť, aby sa predišlo interferenciám a potenciálne poškodeniu prijímačov. Toto cielené „vypnutie“ odpovedača počas vysielania iných vysieláčov na podobnej frekvencii teda tiež zapríčiní obsadenosť odpovedača a nedostupnosť v zlomkoch sekundy. Kombinácia vysieláčov rôznych systémov vo zvýšenom množstve zvyšuje počet interferencií, zvyšuje FRUIT a garbling, čo znamená zníženie výkonnosti prehľadových systémov. ACAS má priamy dopad na aktivitu na týchto frekvenciách, keďže používa formát módu S na zistenie lietadiel v jeho pokrytí a tiež starší formát odpovedí na zistenie lietadiel bez odpovedača módu S. Aktivita systému TCAS vo vzdušnom priestore logicky rastie s rastúcou prevádzkou. Vývoj ADS-B a aktívnych WAM,

ktoré tiež využívajú správy módu S na prenos informácií o polohe a indentifikácii lietadiel v posledných rokoch má tiež podiel na náraste aktivity na týchto frekvenciách. Vývoj funkčností elementary surveillance a enhanced surveillance tiež zvýšil počet správ vysielaných na 1090 MHz [17], [22].



Obr. 6 Zariadenia používajúce letecké pásmo medzi 960 a 1215 MHz

Zdroj: ICAO Doc 9924

Interferencie signálov tvorených SSR systémom môžu byť minimalizované:

- a) použitím najnižšieho možného výkonu vysielача, aký je možný použiť s ohľadom na želanú výkonnosť systému (dosah v dostatočnej intenzite)
- b) použitím režimu s čo najnižšou frekvenciou dotazov ako je možné
- c) zaistením, aby frekvencia dotazov nebola synchronná s ostatnými pozemnými dotazovačmi s prekrývajúcim sa pokrytím (časťou dosahu)
- d) umiestnením minimálneho počtu dotazovačov, aký je pre daný vzdušný priestor splňujúci prevádzkové požiadavky a bezpečnosť

- e) spoluprácou medzi subjektami spravujúcimi pozemnú prehľadovú techniku s dosahom za hranice štátu

V roku 2015 vypracoval Eurocontrol na žiadosť Řízení letového provozu ČR, analýzu frekvencií 1030 a 1090 MHz používaných prehľadovou technikou na tok dát. Základ analýzy poskytli údaje namerané senzormi na palube lietadla letiacim vo vzdušnom priestore ČR.

Pre merací let bolo použité lietadlo Cessna 560XL Citation Excel patriace Úřadu pro civilní letectví s registračnou značkou OK-CAA. Merací let bol vykonaný s malými odchýlkami celý vo FL 300 v trvaní meraní 53 minút a korešpondujúcimi 53 setmi získaných údajov, takže každý set má údaje z 1 minúty monitorovania. V analýze sa potom použili údaje zo 4 z nich a to 10:57, 11:02, 11:08 a 11:15 UTC v miestach vzdušného priestoru zobrazených na [22].

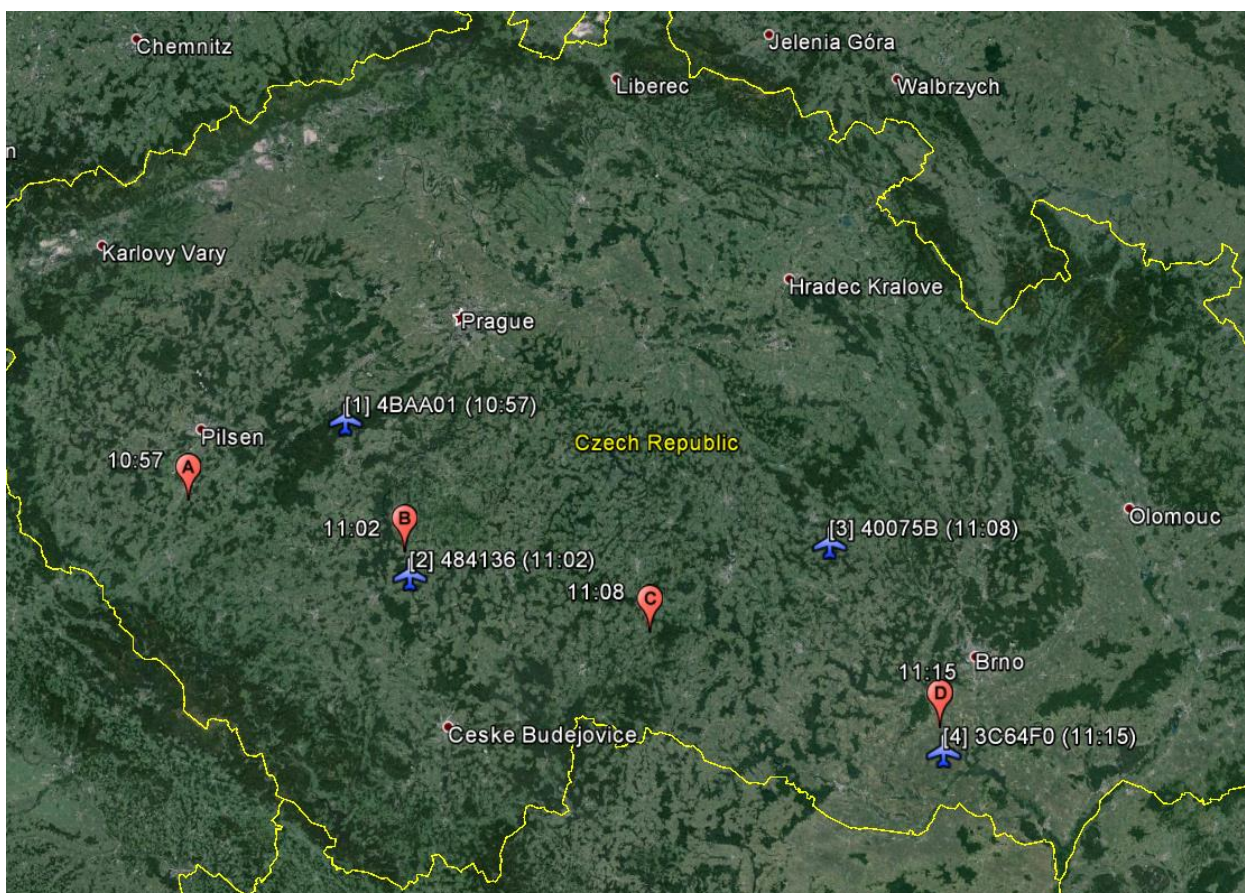


Obr. 7 Cessna 560XL Citation Excel OK-CAA

Zdroj: www.radarbox.com

Na lietadle boli na meranie použité prístroje štvorkanálový rekordér IPC-6025 (CIMS Engineering & Systems GmbH) a upravené duálne 1030/1090 MHz prijímače SBS-2 (Kinetic avionics) [22].

Na vytvorenie štatistík boli vybrané 4 lietadlá (ktoré boli tiež vo vzduchu v čase vykonávania meracieho letu) s najvyšším počtom prijatých odpovedí (v móde S), ale zároveň boli vybrané lietadlá v rozdielnych geografických polohách letiace v rôznych výškach [22].



Obr. 8 Polohy zaznamenania údajov použité pre analýzu označené červenými značkami a polohy a časy zberu odpovedí od zvolených lietadiel

Zdroj: Eurocontrol: Analysis of 1030/1090 MHz Frequency Bands Czech Republic

Analýza mala overiť hlavne, či odpovede vybraných lietadiel s vysokou intenzitou odpovedí vo vzdušnom priestore Českej republiky neprekračujú limity intenzity dotazov špecifikované v ICAO Annex 10 zväzok IV. Tiež sa overovalo, či MLAT alebo TCAS svojimi signálmi neobsadzujú činnosť odpovedača na viac ako 2 % [22].

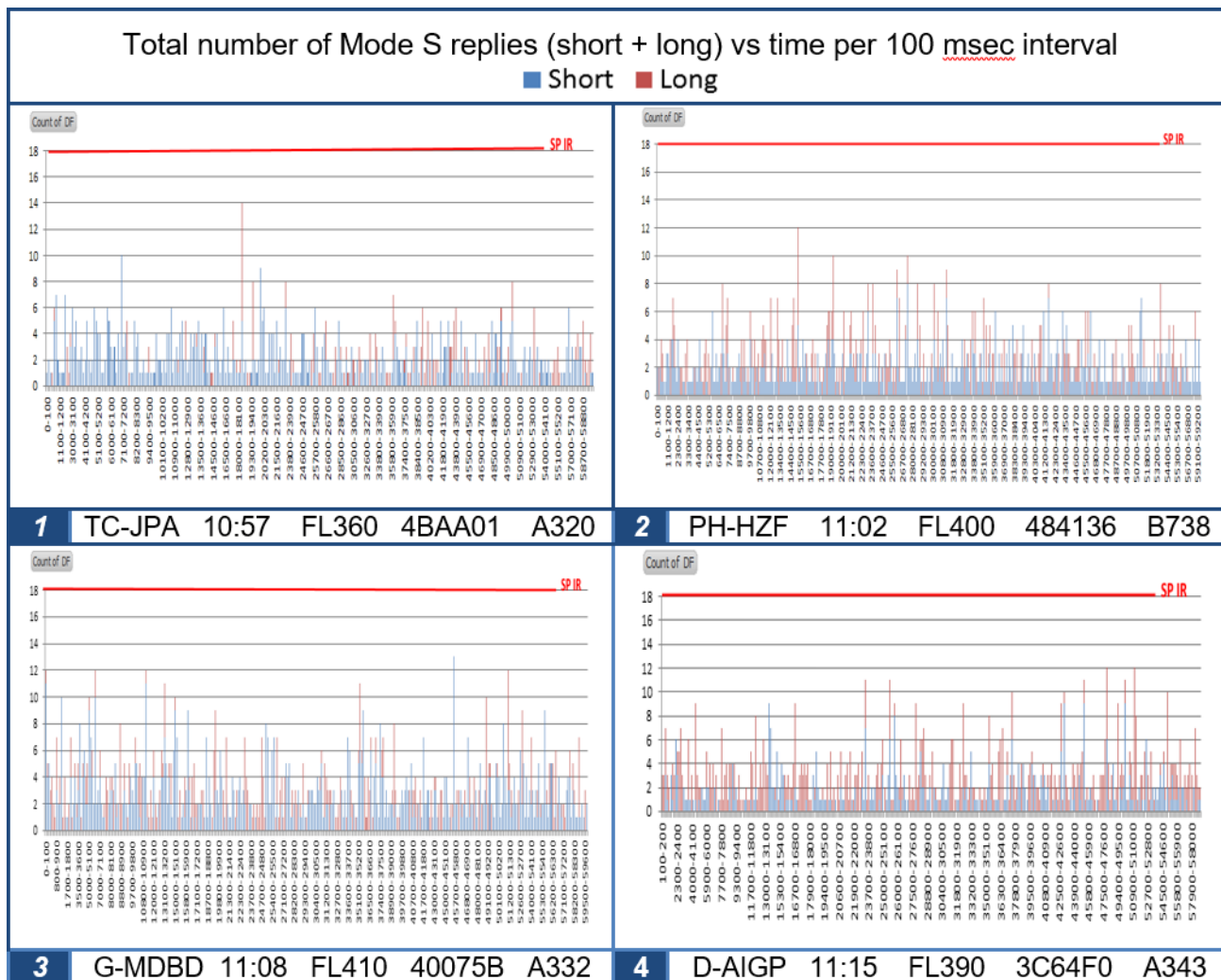
Požiadavky na výkonnosť odpovedačov sú uvedené v časti 2.2 tejto práce.

List of retained aircraft with high response rate

	
1 TC-JPA 10:57 FL360 4BAA01 A320	2 PH-HZF 11:02 FL400 484136 B738
	
3 G-MDBD 11:08 FL410 40075B A332	4 D-AIGP 11:15 FL390 3C64F0 A343

Obr. 9 Lietaďlá zvolené pre analýzu a ich údaje

Zdroj: Eurocontrol: Analysis of 1030/1090 MHz Frequency Bands Czech Republic

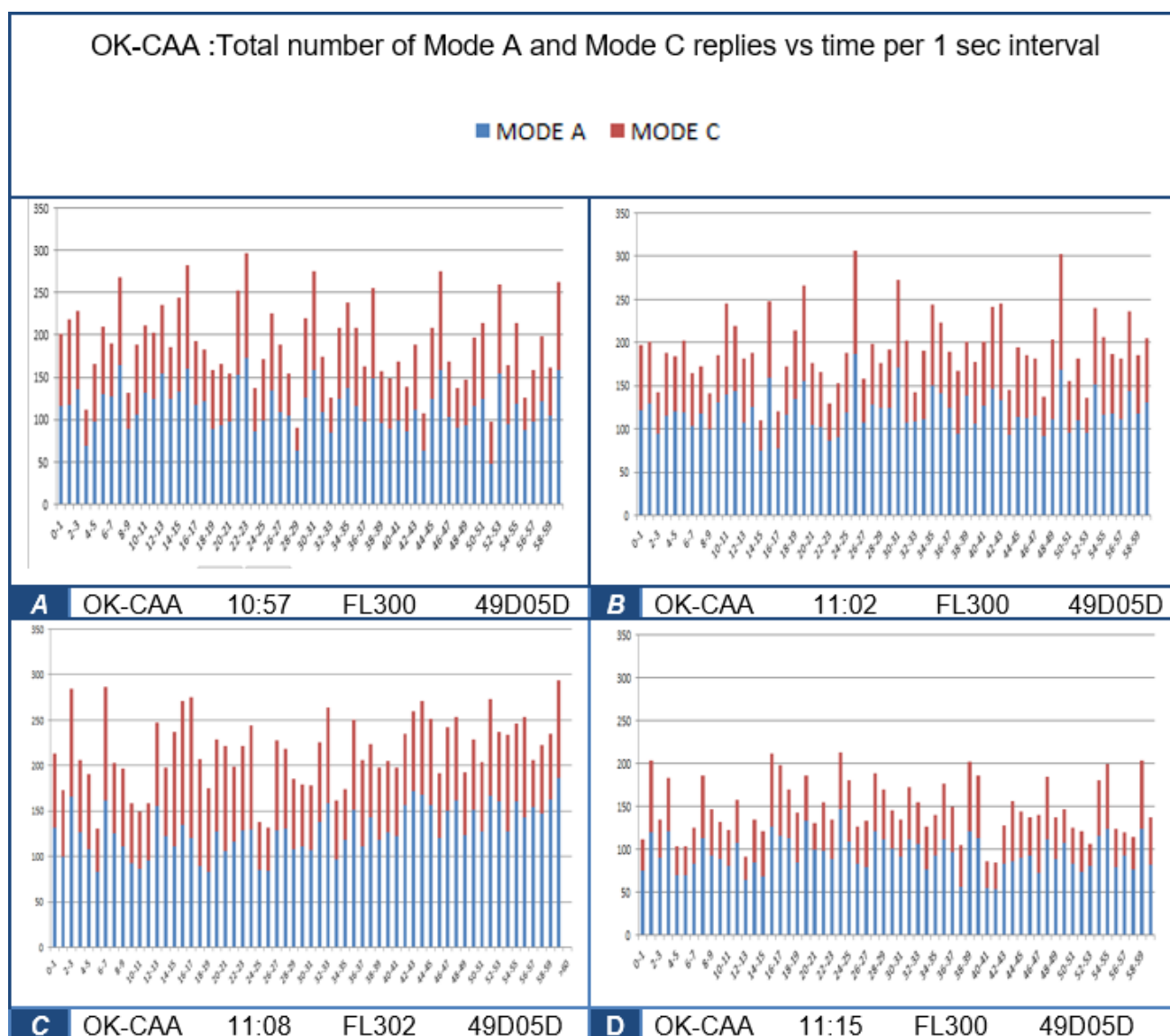


Obr. 10 Nameraný počet odpovedí módu S za 100 ms

Zdroj: Eurocontrol: Analysis of 1030/1090 MHz Frequency Bands Czech Republic

Požiadavky Nariadenia 1207/2011 stanovuje aby počet krátkých a dlhých odpovedí **vyžadovaných dotazovačom** v móde S zostal **pod 18 odpovedí za 100 milisekúnd** (čo je zároveň minimálna požiadavka Annex 10 pre výkonnosť odpovedačov) (pozri 2.2). Obr. 10 ukazuje počet odpovedí v móde S požadovaných pozemnými systémami na 100 milisekúnd. **Horná hranica grafu reprezentuje limit (18 odpovedí).**

Obr. 11 ukazuje celkový počet odpovedí vlastného lietadla (OK-CAA) v módoch A a C za interval 1 sekunda. Ten neprekračuje limit 350 odpovedí (horná hranica grafov).



Obr. 11 Počet odpovedí v módoch A a C za 1 sekundu OK-CAA.

Zdroj: Eurocontrol: Analysis of 1030/1090 MHz Frequency Bands Czech Republic

Tabuľka 5 reprezentuje nameranú **vyťaženosť** (occupancy) **na frekvencii 1030 a 1090 MHz** pulzami akéhokoľvek druhu nad 0,3 μ s v rôznych časoch.

Tabuľka 4 **Všeobecné vyťaženie (occupancy) frekvencií 1030 a 1090 MHz**

Zdroj: Eurocontrol: Analysis of 1030/1090 MHz Frequency Bands Czech Republic

	RF Occupancy	
	1030 MHz	1090 MHz
10:57	0.57%	9.10%
11:02	0.62%	7.50%
11:08	0.79%	8.87%
11:15	1.06%	10.90%

Tabuľka 6 **Vyťaženie spôsobené WAM**

Zdroj: Eurocontrol: Analysis of 1030/1090 MHz Frequency Bands Czech Republic

	Number	Transponder occupancy
10:57	697	0.06%
11:02	1263	0.11%
11:08	3902	0.37%
11:15	8835	0.77%

Tabuľka 5 **Vyťaženie spôsobené TCASom**

Zdroj: Eurocontrol: Analysis of 1030/1090 MHz Frequency Bands Czech Republic

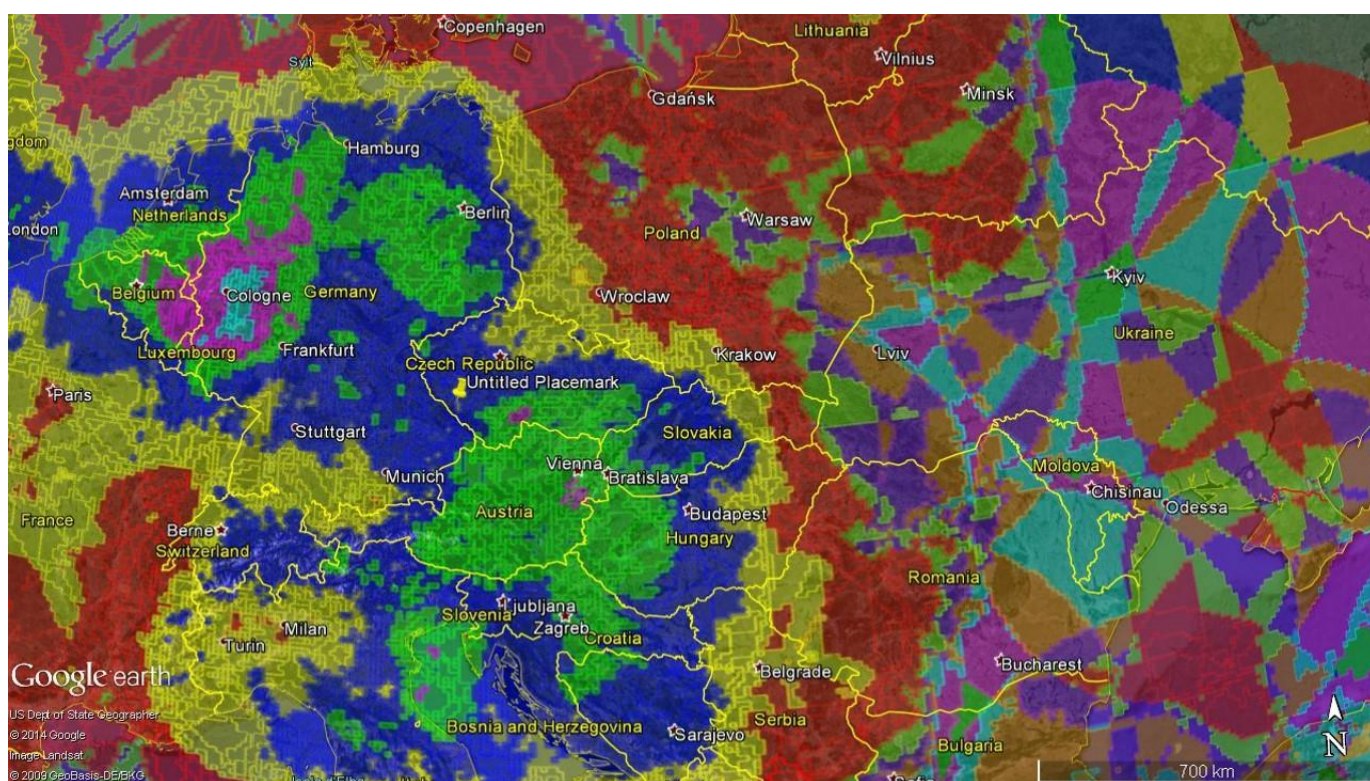
	TCAS	
	Number	Occupancy
10:57	1730	0.16%
11:02	1828	0.15%
11:08	1716	0.16%
11:15	1730	0.16%

Tabuľka 6 ukazuje **počet prenosov a percento vyťaženia** potlačením príjmu odpovedača počas vysielania jeho vlastných **TCAS pulzov** a Tabuľka 7 ukazuje **počet dotazov a percento vyťaženia odpovedača systémami WAM**.

Počet krátkych a dlhých odpovedí módu S bol zistený **pod predpisovým maximom 18 odpovedí** za 100 milisekúnd, no **maximá** občas dosahujú **15 odpovedí** za 100 milisekúnd. a tiež celkový počet odpovedí módu S bol nameraný pod hodnotou **50 za sekundu**, požadovanej tiež Annex 10. Aktivita systémov WAM tiež ostáva pod **2 %** podielu záťaže na odpovedači [22].

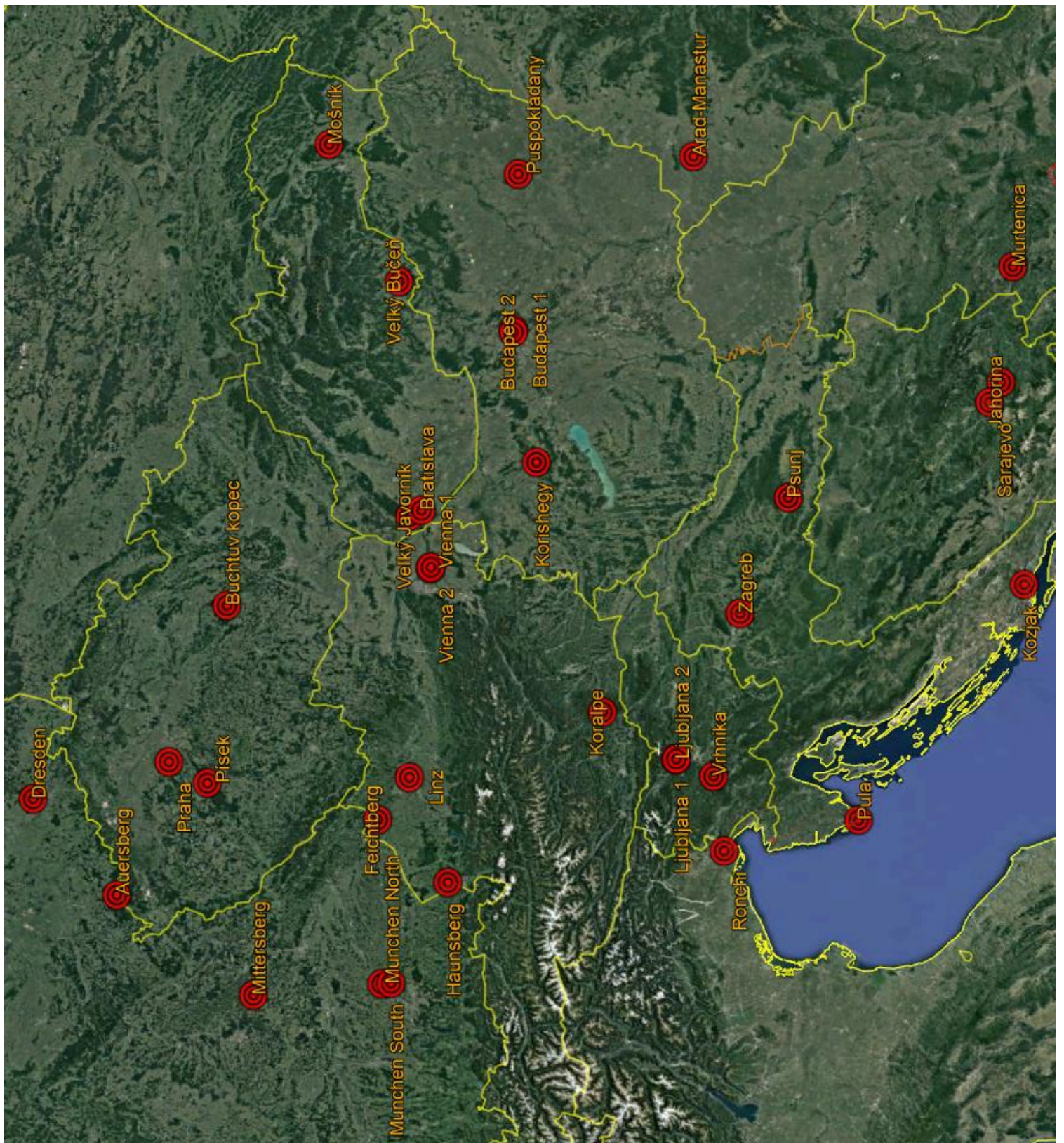
Analýza tiež dospela k niektorým ďalším záverom (grafy a obrázky k nim nie sú uvedené v tejto práci), napríklad že počet dlhých odpovedí samostatne prekračuje hodnoty 16 za sekundu a tiež 6 za 100 milisekúnd. V počte odpovedí módy A a C vedú pred módom S, ale v obsadení času na frekvencii 1090 MHz vedie mód S [22].

Obr. 12 ukazuje mieru redundancie pokrytia vzdušného priestoru v oblasti Strednej Európy vo FL 400 sekundárnymi prehľadovými radarmi. Podľa násobnosti prekrytia v počte radarov: červená = 10 – 14, žltá = 15 – 19, tmavomodrá = 20 – 24, zelená = 25 – 29, ružová = 30 – 34, svetlomodrá = 35 – 39, oranžová = 40 – 44, fialová = 45 – 49, svetlozelená = 50 – 51. Systémy WAM nie sú brané do úvahy [23].



Obr. 12 Násobnosť pokrytia strednej Európy SSR

Zdroj: European Aviation Safety Agency: Report to the European Commission Detection losses in Central Europe on the 5th and 10th of June 2014



Obr. 13 Rozloženie sekundárnych radarov v priestore FAB CE a jeho blízkosti

Zdroj: Google Earth Pro a vlastná tvorba

6 METODIKA ANALÝZY DÁT

Na zistenie záťaže lietadlových odpovedačov nad územím ČR využijeme dátové súbory, do ktorých sú ukladané údaje prijaté univerzitnými ADS-B prijímačmi a vytvoríme skript v prostredí Matlab na spracovanie týchto dát a dopracovanie sa k výsledku.

```
1626394800061;2;012C39E2A722;02E197B1FE2D53
1626394800061;2;012C39F0D959;AC611B1DCC0444DC63608C6D89B1
1626394800061;2;012C3A3473FD;5D3446496F2C33
1626394800061;2;012C3A462E33;A8001D06FFB68134FFFCE538E736
1626394800061;2;012C3A462E42;A8001D06FFB68334FFFCE538E736
1626394800061;2;012C3A471C0D;9FFF9CA51CE4DA24F3E4A8F9D123
1626394800062;2;012C3A4C4901;A8001D06C8480030C00000CCF3CA
```

Obr. 14 Časť dátového súboru, v ktorom sú zakódované správy prijaté ADS-B prijímačmi
Zdroj: vlastná tvorba

V prvom rade je potrebné načítanie želaných údajov do programu, vyslaných palubnými odpovedačmi s módom S. Tie musia byť uložené v adresári „Archiv“, uloženom na disku v rovnakom umiestnení ako program /skript. Dátové súbory môžu byť relatívne obsiahle, napríklad dáta z 16.7.2021 má cez 40 miliónov riadkov a veľkosť zhruba 2 GB.

Vytvoril som dva podobné, ale rozdielne skripty z ktorých jeden má polohové informácie správ z odpovedačov (módu S) získané lokálnou metódou a druhý globálnou. Globálna metóda je takpovediac presnejšia, hlavne pri väčších vzdialenostiach odpovedača od ADS-B prijímača. Lokálna metóda pri väčších vzdialenostiach odpovedača od prijímača môže dospieť k chybnéj polohe, ktorá je inde ako skutočná poloha. Preto sme aj pri výbere výsledkov zvolili najmä analýzu s globálne dekodovanými polohami. Rozdielne časti skriptov budú uvedené textom „**Pre globálne (lokálne) dekodovanie:**“ na začiatku odsekov.

6.1 Prvotné načítanie dát

Na načítanie je použitý skript „Nacteni_ATMdata“ , spustený rovnomenným riadkom v úvode skriptu. Každý riadok podľa znaku „;“ rozdelí na štyri časti (premenné): „Unix_time“ – čo je unixový čas serveru v čase prijatia správy, „prijimac“ - číslo

z množiny 1 až 4, ktoré označuje prijímač, ktorým bola správa prijatá, „time“ – UTC čas prijatia správy prijímačom a „Message“ – čo je samotná dátová správa vyslaná odpovedačom (módu S) lietadla. Pre želané fungovanie skriptu je potrebné zvoliť si ADS-B prijímač, teda jeho identifikačné číslo, ktorého prijaté dáta budú analyzované.

6.2 Voľba ADS-B prijímača pre analýzu

„zvolprijimac“ je logická premenná (hodnoty 1 alebo 0) s veľkosťou ako „prijimac“, čiže počet správ, krát jeden. Riadku je priradená hodnota 1, ak je číslo v premennej „prijimac“ iné, ako číslo zvolené premennou ADSB_ID a následne príkaz „Message(zvolprijimac,:) = []“ priradí prázdnu množinu riadkom premennej „Message“ s rovnakými indexami, ktorým bola priradená hodnota 1 v logickej premennej „zvolprijimac“, čiže tieto riadky sa prakticky vymažú. Obdobne sa vymažú riadky rovnakých indexov v premenných „time“, a ďalšie, nepotrebné pre fungovanie tohto skriptu. Číslom od 1 do 4 za „ADSB_ID =“ (riadok 4) si teda zvolíte, ktorý z ADS-B prijímačov sa v programe použije. V čase tvorby tejto práce je možné v rámci dátových súborov ukladaných na serveri Laboratória ATM systémov FD ČVUT spracovávať dáta z jedného z nasledujúcich ADS-B prijímačov:

- 1 – Strahov
- 2 – City tower
- 3 – letisko Praha Letňany(LKLT)
- 4 – letisko Praha (LKPR)

sizeMessage má hodnotu dvojmiestneho poľa, získaného príkazom size(Message) zisťujúcim rozmery „Message“, ktorého prvá hodnota je vlastne počet správ, keďže každá správa je v jednom riadku a druhá hodnota je 1, keďže premenná Message má vždy 1 stĺpec. Do premennej „pocet_sprav“ je vložená prvá hodnota poľa „sizeMessage“, teda počet správ načítaných z dátového súboru.

Do premennej „hexove“ sú uložené dátové správy z „Message“ typu „cell“ tak, aby boli v dátovom type „char“, v šestnástkovej sústave – znaky a ďalej ich bolo možné spracovať. Správy sú rozdielnej dĺžky, pretože podľa typu správy majú (po konvertovaní do

binárneho tvaru) buď 56, alebo 112 bitov. Do premennej „time_hex“ sú uložené UTC časy prijatia jednotlivých správ prijímačom, taktiež ako dátový typ „char“ v hexadecimálnom tvare.

6.3 Dekódovanie polôh a časov

Pre globálne dekódovanie: Ešte pred začatím prvého cyklu na dekódovanie dôležitých údajov z každej prijatej správy je v skripte s globálnym dekódovaním polôh volaný skript „Matlab_DF17_Position_decoder“, autorom ktorého je Ing. Tomáš Lipták, ktorý musí byť prítomný v zložke s týmto skriptom a rovnako súbor „DF17_Position_decoder.exe“ v zložke „Archiv“, v ktorej je súčasne dátový súbor so správami, ktoré chceme dekódovať a analyzovať. Tento skript s vykonávacím súborom použijeme na získanie polôh zo správ s DF kódom 17, globálnym dekódovaním. Tie sa dekódujú so zvyškom správ do súboru „Coordinates_(povodny_nazov_dat_suboru).dat“ Z neho želané dáta pre spracovanie importujeme krátkym skriptom „ImportujCoordinates“, ktorý je súčasťou tejto práce. Premenným, takto uloženým, som dal v názve na koniec písmeno „g“, aby bolo jasné, že ide o premenné (hlavne polohy, časy a ICAO adresy) správ s DF kódom 17, prislúchajúce globálne dekódovaným polohám (Latg, Long, Vyskag,...). V skripte s globálnou metódou sú teda premenné „Lat“, „Lon“ a „Vyska“ iba nulové matice, ktorým (neskôr) priradíme globálne získané polohy a výšky na základe rovnakej prislúchajúcej ICAO adresy a zároveň časovo najbližšie vyslanej polohovej správy.

Nasleduje cyklus, ktorého hlavná úloha je dekódovať známe časy správ a v skripte s lokálnou metódou získania polohy aj polohy správ s DF (downlink format) kódom 17, ktorý zodpovedá správam odpovedačov módu S Extended Squitter určenými pre systém ADS-B.

Pre globálne dekódovanie: Priamo z 9. až 32. bitu správy v prípade správ s DF 11 dekódujeme 24-bitovú ICAO adresu odpovedačov. Od správ s DF 17 už ICAO adresu máme načítanú zo súboru „Coordinates_...“, takže ju v tomto cykle nedekódujeme. Pre správy s odlišnými DF kódmi je použitá funkcia `crc_division4`, ktorá zistí ICAO adresy podľa cyklickej kontroly (cyclic redundancy check).

Pre lokálne dekódovanie: U správ s DF 11 a 17 je možné priamo z bitov 9 až 32 správy dekódovať 24-bitovú ICAO adresu odovedačov. Pre správy s odlišnými DF kódmi použijeme aj v tomto prípade cyklickú kontrolu. Ďalej už nasleduje dekódovanie informácie o polohe zo správ s DF 17 a zároveň s TC (type kód) takými, ktoré obsahujú „airborne position message“. Bolo treba odfiltrovať teda zároveň s DF kódom 17 konkrétne type kódy (TC 9 – 18), ktoré prislúchajú správam, ktoré obsahujú informáciu o polohe [24].

Pre lokálne dekódovanie: Z týchto správ (z ich binárneho tvaru) potom funkcia „DF17_poloha“ dekóduje zemepisnú šírku a dĺžku. Je potrebné zadať referenčnú zemepisnú šírku a zemepisu dĺžku – súradnice ADS-B prijímača, ktorý prijal dané správy. Tie sú potrebné pri lokálnej metóde dekódovania polohy. Postačujú aj približné hodnoty, rozdiel od skutočnej polohy v desatinách stupňa nespôsobí dekódovanie nesprávnych polôh (aspoň v nie vysokých vzdialenostiach od prijímača). Funkcia „DF17_TC9_18_vyska“ potom dekóduje výšky. Správam, ktoré nespĺňujú podmienky v podobe DF kódu 17 a použiteľných type kódov, je zatiaľ priradená zemepisná dĺžka a šírka, aj výška v hodnote „0“.

Za tým sa ešte do premennej „time_desatinne“ vložia časy príchodu jednotlivých správ v desatinnej podobe (aby to bolo jedno číslo), ktorá bude potom využívaná pri práci s priestorovými elementami.

Pre globálne dekódovanie: Keďže údaje (polohy, časy, výšky,...) správ s DF 17 máme importované zo súboru „Coordinates_...“. V ďalšom cykle („for s = 1 : pocet_spravg“) ešte získame desatinný tvar časov správ s globálne dekódovanou polohou (riadky 86 – 88) a môžeme spojiť údaje z globálneho dekódovania, DF 17 („Coordinates_...“) s ostatnými správami. V prípade polôh (premenné „Lat“ a „Lon“) je to teda pridanie globálne dekódovaných polôh k nulovej matici s veľkosťou počtu správ bez polohovej informácie.

6.4 Priradovanie polôh

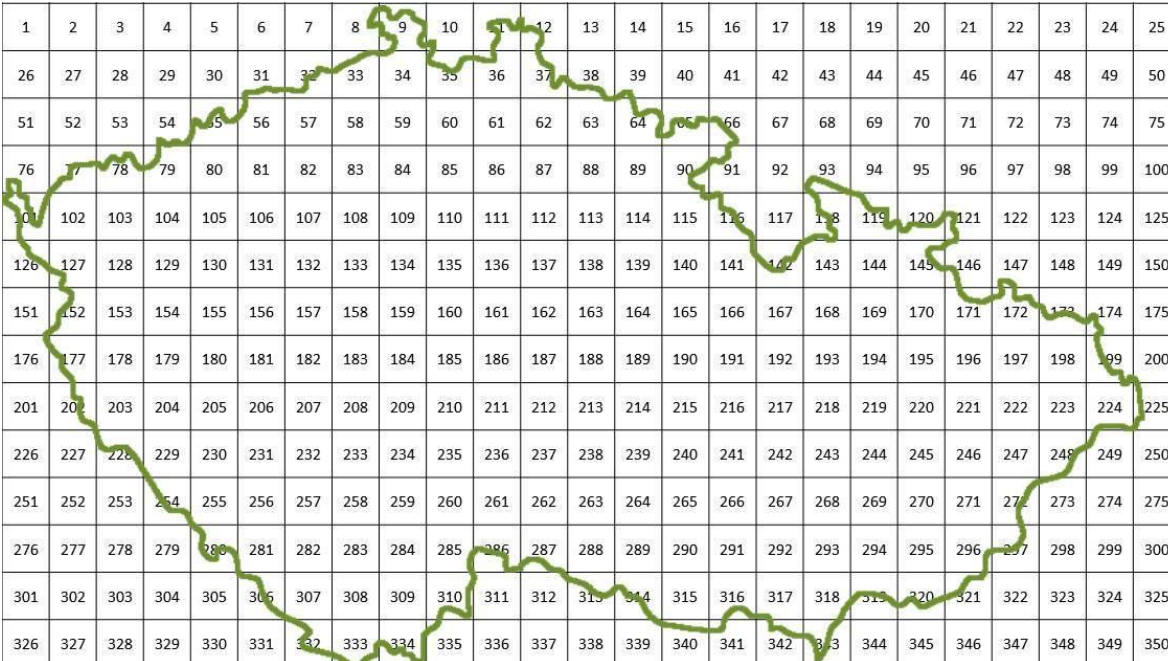
Polohu zo správ s DF 17 a s type kódmi, ktoré obsahujú zakódovanú polohovú informáciu síce máme, cieľom je teraz priradiť polohové informácie všetkým správam, ktoré budú vstupovať do geografickej analýzy. Preto pri správach bez polohy s rovnakou ICAO adresou,

akú má aspoň jedna so zistenou polohou, pridelujeme rovnakú polohu ako časovo najbližšia správa s rovnakou ICAO adresou.

Na to slúži premenná „Udaje“, obsahujúca číselné indexy správ, ICAO adresy, časy prijatia správ, zemepisné šírky, zemepisné dĺžky a výšky. Riadky tejto matice zoradíme primárne podľa ICAO adries (všetky správy od rovnakého lietadla budú spolu) a sekundárne podľa časov prijatia. Údaje prejdeme dvoma cyklami, prvým smerom nadol, druhým smerom nahor. Pri prvom prejdení si do ďalších stĺpcov matice uložíme zemepisné súradnice, výšku a časy poslednej správy s týmito údajmi k správam bez týchto údajov. Pri druhom prejdení si známe údaje uložíme znovu do dočasných premenných a tam, kde sú tieto údaje časovo bližšie konkrétnej správy oproti prvému prejdeniu, prepíšu sa v tejto matici a aj v samotných premenných (Lat, Lon, Vyska). Po tomto majú všetky správy so známou ICAO adresou a zároveň aspoň 1 prijatou polohovou správou (od rovnakého lietadla) priradené polohy a výšky, aby sme ich mohli analyzovať v geografickom priestore.

6.5 Definovanie súradnicovej siete priestorových elementov

Všetkým možným správam máme pridelenú polohu, takže ich môžeme pridelovať do definovaných elementov priestoru. Ako priestorový element sme si určili štvorec s dĺžkou strany 20 kilometrov , pričom západný okraj súradnicovej sústavy je 12,09° východnej

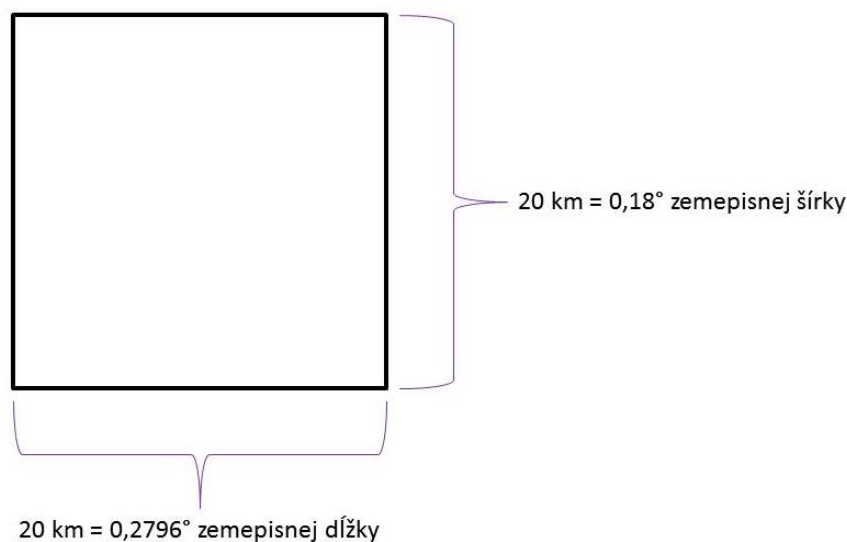


1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125
126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150
151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175
176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200
201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225
226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250
251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275
276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300
301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325
326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350

Obr. 15 Použitá sieť priestorových elementov pre pridelovanie polôh

Zdroj: vlastná tvorba

zemepisnej dĺžky, čo je aj čiara, na ktorej leží najzápadnejší cíp územia Českej republiky. Východný okraj súradnicovej sústavy je $19,08^\circ$ východnej zemepisnej dĺžky, čo je približne 16 kilometrov východne od najvýchodnejšieho bodu územia Českej republiky. Počet riadkov je 14, takže sa takmer presne zmestia do severo-južného rozmeru územia ($20 \text{ km} \times 14 = 280 \text{ km}$). Stĺpcov má zvolená súradnicová sieť 25, aby prekryvali celé územie Českej



Obr. 16 Rozmery jedného štvorca súradnicovej siete

Zdroj: vlastná tvorba

republiky ($20 \text{ km} \times 25 = 500 \text{ km}$). Ako je na Obr. 15 vidno, štvorce sú očíslované (pomenované) po riadkoch zľava doprava číslami 1 až 350. Správam s polohou mimo tejto súradnicovej siete sa priestorový element neprideluje a ani sa ďalej vo výpočtoch nepoužijú.

Počet riadkov a stĺpcov je možné meniť, ale je potrebné zároveň zmeniť hodnotu výšky a šírky priestoroveho elementu v stupňoch (čísla $0,2796$ a $0,18$) v podmienkach cyklu „for $k = 1 : (\text{riadkov} * \text{stĺpcov})$ “. V tomto cykle overujeme, či nemá zemepisná šírka alebo zemepisná dĺžka nulovú hodnotu (správy bez polohy, pričom žiadna iná správa s informáciou o polohe nebola od tohto lietadla prijatá), či patria do sledovanej súradnicovej siete ($12,09^\circ$ až $19,08^\circ$ východnej zemepisnej dĺžky a $48,53^\circ$ až $51,05^\circ$ severnej zemepisnej šírky), a či sú súradnice väčšie alebo menšie ako rozdiely „ k – násobku“ (k je iterátor cyklu) severného a južného okraja súradnicovej siete pri $\text{Lat}(n, 1)$ a západného a východného okraja súradnicovej siete pri $\text{Lon}(n, 1)$. Ak sú splnené pre dané číslo

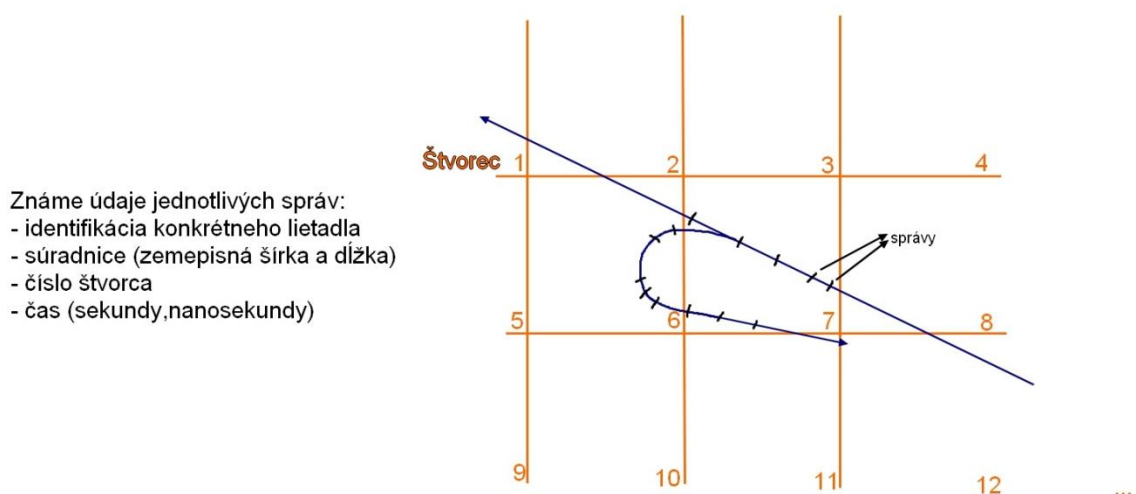
(iterátor k) všetky tieto podmienky, priradíme aktuálne „k“ v prvom prípade riadku, v druhom prípade stĺpcu.

Keď získame riadok aj stĺpec, do ktorých patrí prijatá poloha, môžeme vypočítať, do ktorého štvorca patrí (pri číslovaní štvorcov zľava doprava, po riadkoch). Dospieť môžeme napríklad k nasledujúcemu tvaru, ktorý je v skripte použitý:
$$\text{Stvorec}(n,1) = \text{riadok} * \text{stlpcov} - \text{stlpcov} + \text{stlpec}$$
, (stlpcov = počet stlpcov celkovo).

Štvorec sa započíta iba vtedy, ak správe zároveň prislúcha výška, ktorá patrí do zvoleného rozmedzia (v prípade výpočtu našich výsledkov väčšinou FL 245).

6.6 Detekcia viacnásobných preletov

Pri výpočte, ak by sme na to nebrali ohľad, by mohla nastať situácia, že sa lietadlo vráti do rovnakého štvorca druhýkrát a medzi časom prvej a poslednej správy by vznikol istý úsek bez odpovedí a to by významne znížilo priemerný počet odpovedí za čas. Aby sme vylúčili, že budeme pri výpočtoch brať do úvahy lietadlo po vrátení sa do istého štvorca súradnicovej siete naspäť z iného, časovo jednoliato, usporiadal som maticu „Hodnoty_porovnanie“ s ICAO adresami, časmi a štvorcami správ (pridelený podľa polohy) vzostupne primárne podľa ICAO adres, sekundárne podľa času. Program potom prejde z maticu cyklom zhora nadol a každému novému lietadlu pridelí (do ďalšieho, 5.



Obr. 17 Potenciálne opakované prelety bolo treba ošetriť

Zdroj: vlastná tvorba

sípcu matice) najprv číslo 1, a vždy, keď sa u rovnakého lietadla zmení štvorec, zvýši toto číslo o 1. Tým sa zabezpečí, že každé lietadlo bude mať označený každý svoj samostatný úsek preletený vo štvorci, a to aj pri viacnásobných preletoch rovnakých štvorcov.

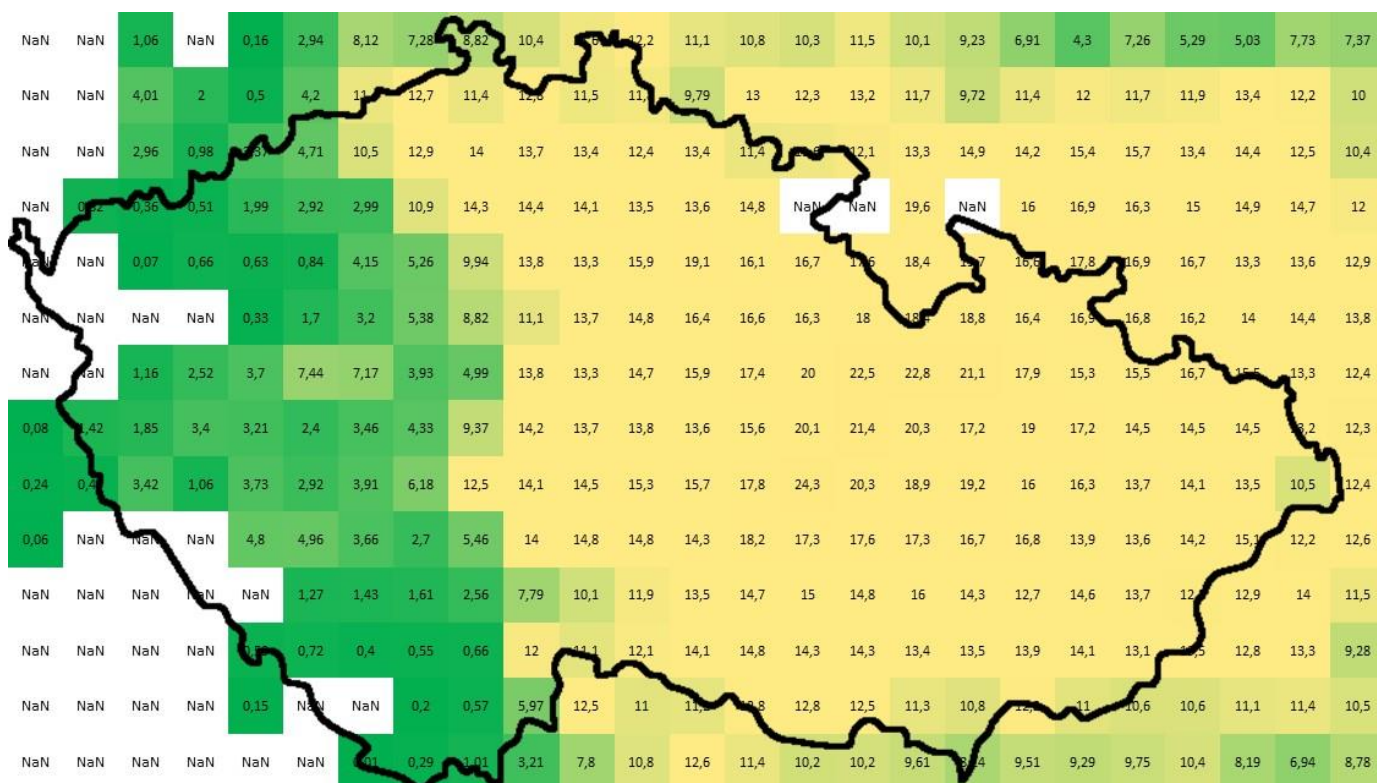
6.7 Výpočet počtu odpovedí a počtu preletov

V rámci premennej „Hodnoty_triedene“, v ktorej už máme vyfiltrované iba správy s polohou vo vymedzenom (pozorovanom) geografickom priestore, si môžeme spočítať počet odpovedí lietadla v rámci jedného štvorca (pri 1 prelete), potom môžeme pri známom čase vstupu a výstupu zo štvorca vypočítať priemerný počet odpovedí tohto lietadla v rámci daného štvorca za sekundu. Pri výpočte výsledkov práce bola zakomponovaná aj podmienka, aby sa tento priemer lietadla počítal iba v prípade, že máme od konkrétneho lietadla v konkrétnom štvorci viac ako 10 správ. Z nich potom priemerné počty odpovedí za sekundu pre daný štvorec (pre všetky lietadlá). Počet odpovedí za sekundu je uložený v premennej „Rozloženie_sprav“, v 5. stĺpci a počet preletov v 4.

7 VÝSLEDKY

Použitím vytvoreného skriptu sa podarilo dospieť k nasledujúcim výsledkom:

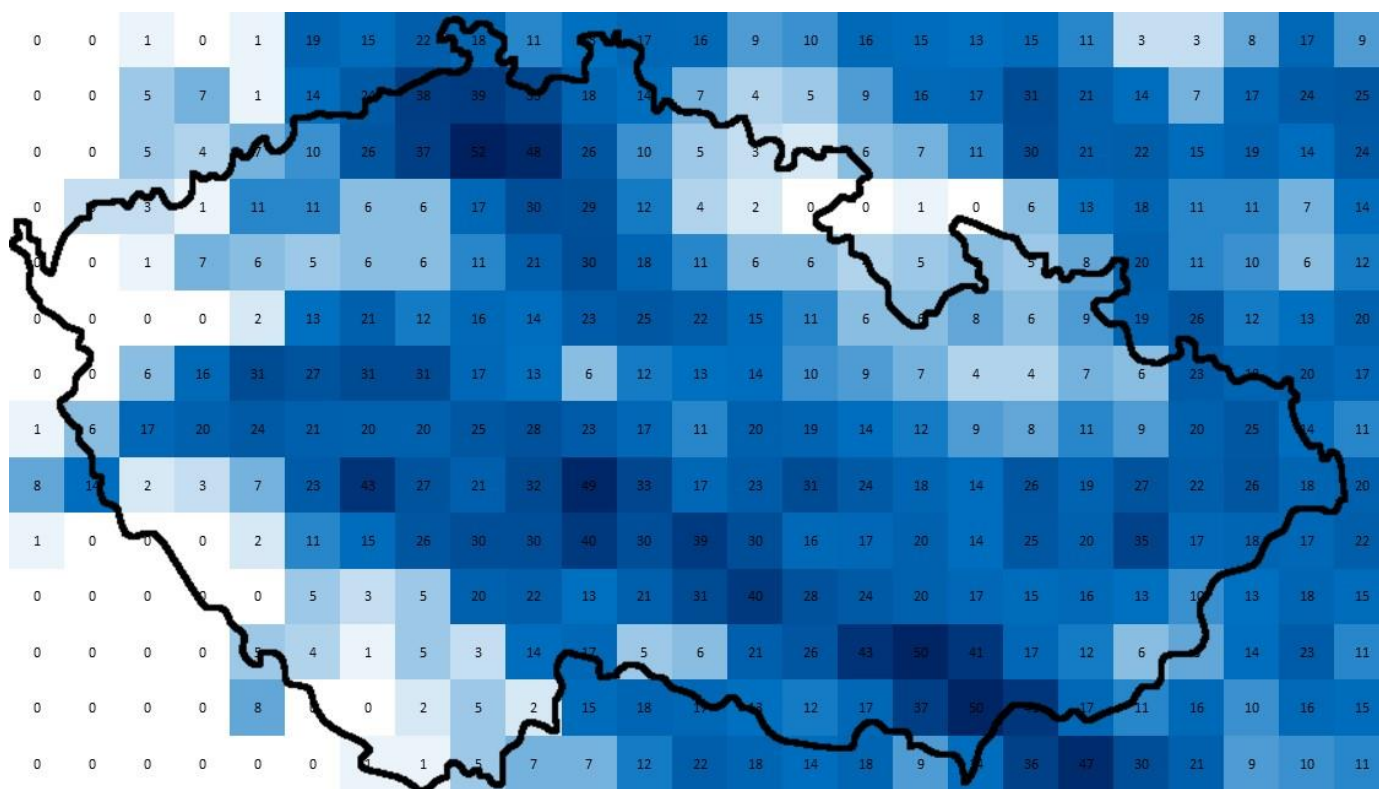
7.1 Prijímač ADS-B 1 - Strahov, deň



Obr. 18 Priemerné počty odpovedí za sekundu, údaje 16.7.2021 11:00 – 13:59 UTC nad FL245, ADS-B 1, globálne

Zdroj: vlastná tvorba

Obr. 18 zobrazuje hodnoty priemerného počtu odpovedí za sekundu v jednotlivých elementoch priestoru. Ide o údaje z piatka, 16.7.2021, nazbierané ADS-B univerzitným prijímačom Strahov (ADS-B 1) za 3 hodiny – 11:00 – 13:59 UTC. Polohy boli dekódované skriptom s použitím globálnej metódy a do výpočtu sú zahrnuté iba odpovede, ktorým pripadá výška nad FL 245. Štvorce označené ako „NaN“ sú buď štvorce, z ktorých prijímač nezachytil žiadnu odpoveď s polohovou informáciou od nijakého lietadla (žaden prelet), alebo na tento štvorec pripadalo veľmi málo odpovedí (10 a menej od každého lietadla jednotlivo), takže sme ich zámerne do výsledkov nezapočítavali, keďže týchto pár odpovedí by mohlo byť falošných a skresľovať výsledok.

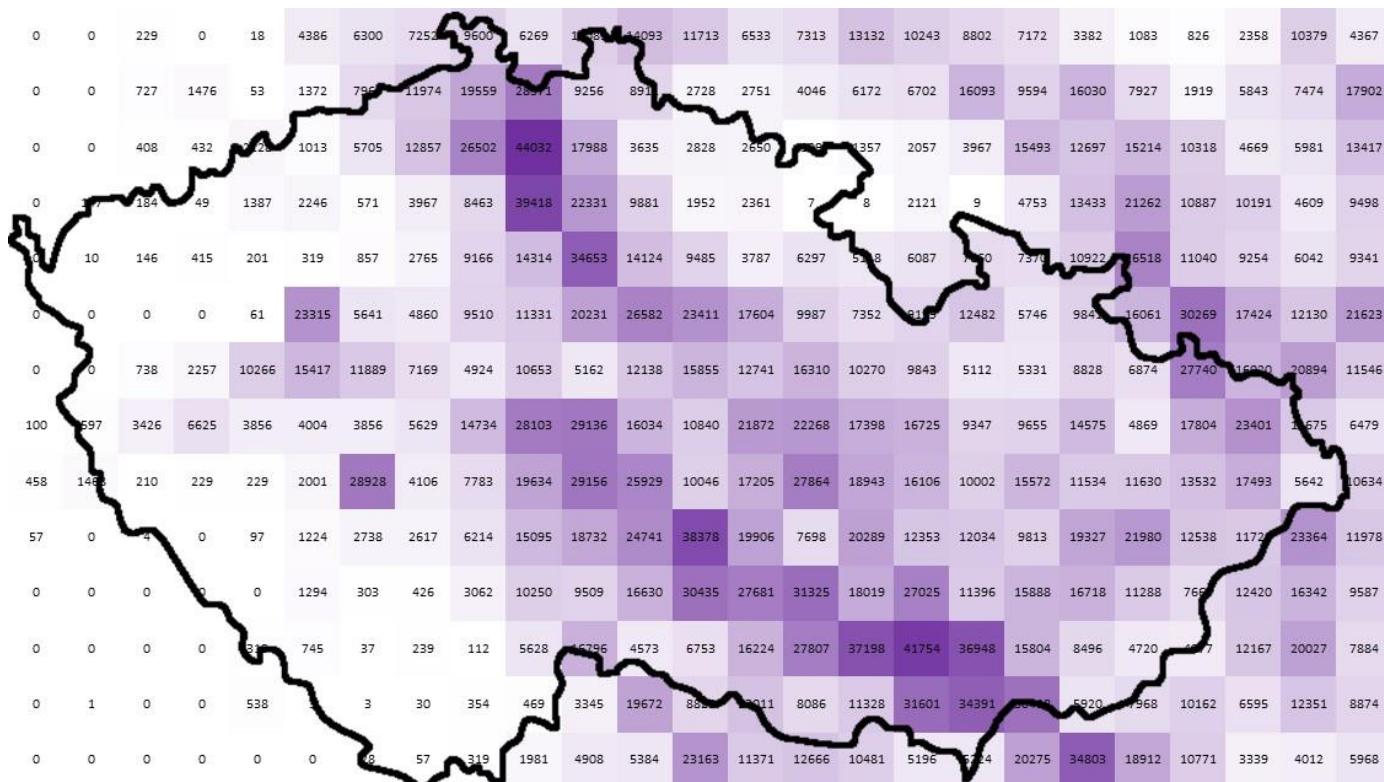


Obr. 19 Počty preletov, údaje 16.7.2021 11:00 – 13:59 UTC nad FL245, ADS-B 1, globálne

Zdroj: vlastná tvorba

Na Obr. 19 vidíme počty preletov lietadiel v každom štvorci. Prelet je započítaný, ak od jedného lietadla v jednom štvorci obdržíme viac ako 10 odpovedí, ale bez toho, aby v čase medzi nimi pripadli od tohto lietadla odpovede inému štvorcu. V prípade, ak sa to isté lietadlo (rovnaká ICAO adresa) vráti do štvorca druhýkrát z iného štvorca, je to započítané ako ďalší prelet v danom štvorci. Štvorce s najväčším množstvom preletov nám naznačujú najfrekventovanejšie letové trajektórie lietadiel.

Stále ide o údaje z piatka, 16.7.2021, nazbierané ADS-B univerzitným prijímačom Strahov (ADS-B 1) za 3 hodiny – 11:00 – 13:59 UTC. Polohy boli dekodované skriptom s použitím globálnej metódy a do výpočtu sú zahrnuté iba odpovede, ktorým pripadá výška nad FL 245.



Obr. 20 Celkový počet prijatých odpovedí, údaje 16.7.2021 11:00 – 13:59 UTC nad FL245, ADS-B 1, globálne

Zdroj: vlastná tvorba

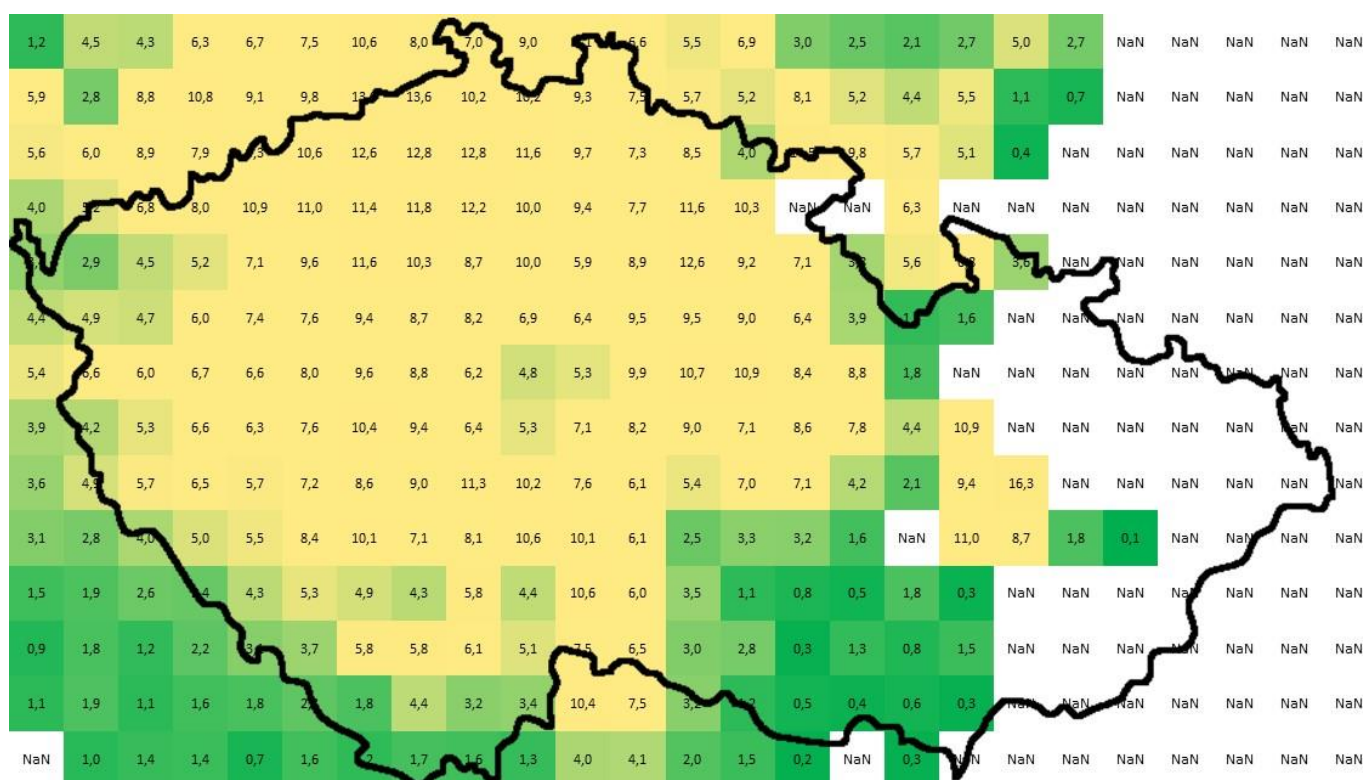
Na Obr. 20 vidíme celkový počet odpovedí, ktoré pripadli jednotlivým štvorcov. Všimnúť si môžeme napríklad to, že z niektorých štvorcov bolo prijaté malé množstvo odpovedí, ale tie neboli započítané do priemerného počtu odpovedí za sekundu (obrázky vyššie). Keď vezmeme do úvahy všetky tri obrázky, môžeme konštatovať, že prijímač Strahov (ADS-B 1) má zrejme kvôli prekážkam slabé pokrytie smerom na západ a najmä na juhozápad. Všimnime si napríklad štvorec 92 v Poľsku, tesne pri českých hraniciach (severovýchod), v oblasti poľského mesta Klodsko (Kłodzko). Napriek tomu, že sme v ňom zaznamenali iba 1 prelet a 2121 odpovedí, čo nie je tak veľa oproti iným štvorcov, za sekundu je to 19,6 odpovedí za sekundu (vyššie). Porovnajme si to so „zelenými“ štvorcami

s nízkymi počtami odpovedí za sekundu, z ktorých má väčšina zaznamenaných viac preletov a aj celkový počet zaznamenaných odpovedí za analyzovanú dobu.

Rovnako ide o údaje z piatka, 16.7.2021, nazbierané ADS-B univerzitným prijímačom Strahov (ADS-B 1) za 3 hodiny – 11:00 – 13:59 UTC. Polohy boli dekódované skriptom s použitím globálnej metódy a do výpočtu sú zahrnuté iba odpovede, ktorým pripadá výška nad FL 245.

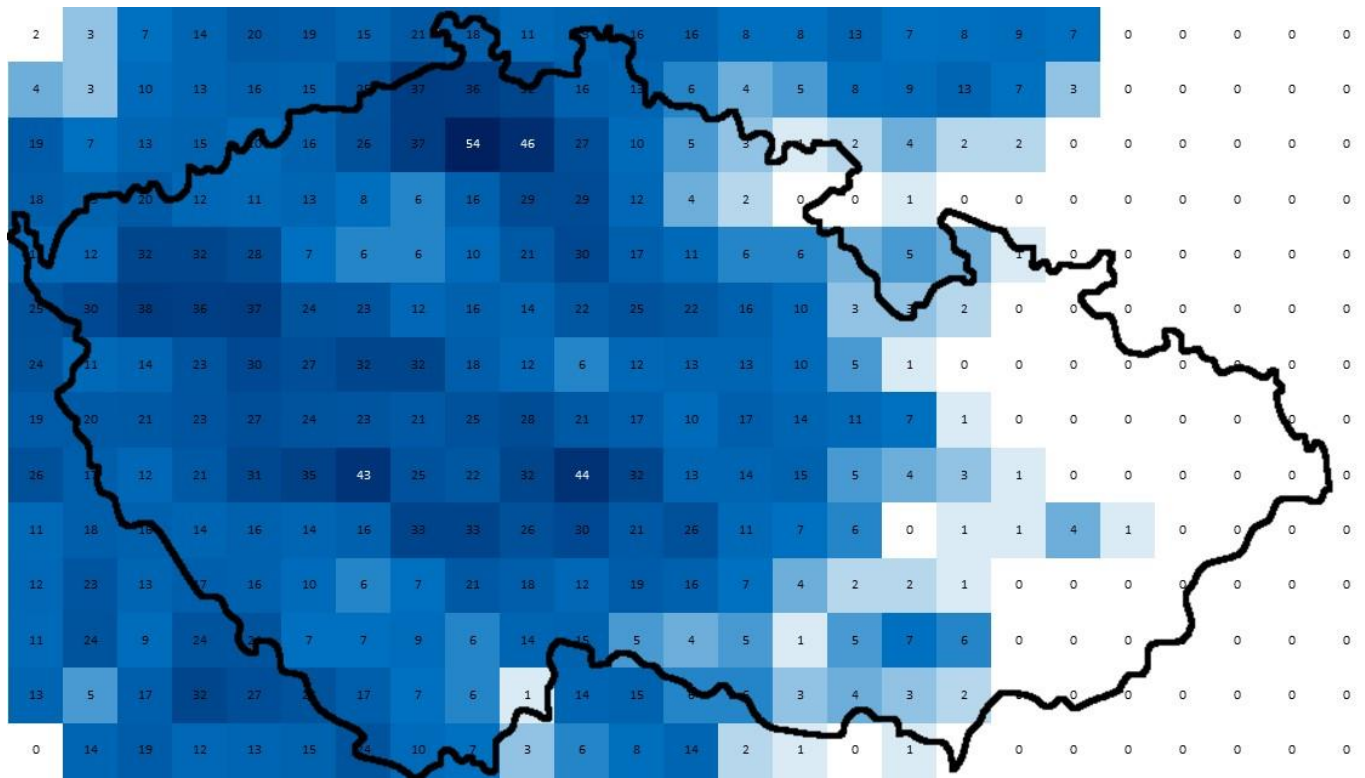
7.2 Prijímač ADS-B 3 – Letňany, deň

Na nasledujúcich obrázkoch si môžeme porovnať rovnaké veličiny s prijímačom Letňany.



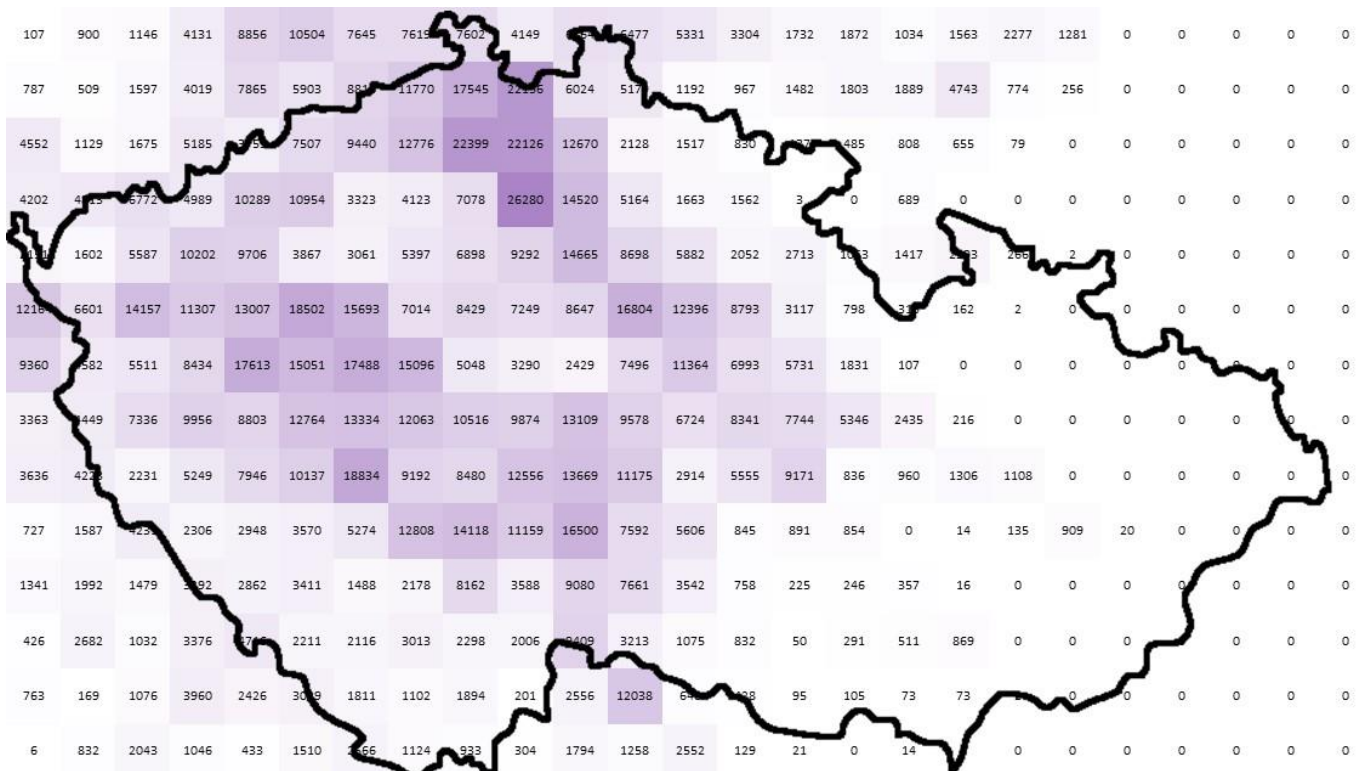
Obr. 21 Priemerné počty odpovedí za sekundu, údaje 16.7.2021 11:00 – 13:59 UTC nad FL245, ADS-B 3, globálne

Zdroj: vlastná tvorba



Obr. 23 Počty preletov, údaje 16.7.2021 11:00 – 13:59 UTC nad FL245, ADS-B 3, globálne

Zdroj: vlastná tvorba

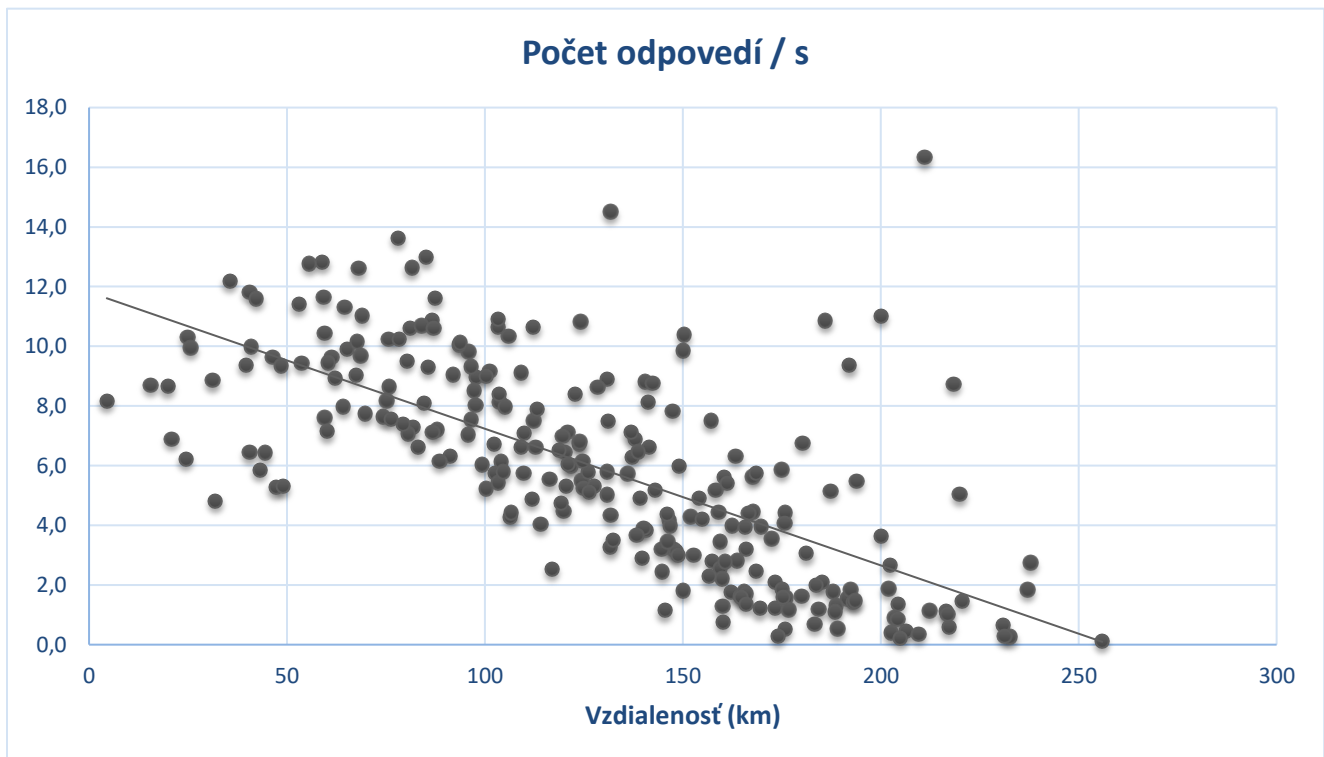


Obr. 22 Celkový počet prijatých odpovedí, údaje 16.7.2021 11:00 – 13:59 UTC nad FL245, ADS-B 3, globálne

Zdroj: vlastná tvorba

Na Obr. 21 vidíme zobrazené priemerné počty odpovedí za sekundu prijaté univerzitným prijímačom ADS-B 3 v Letňanoch, dňa 16.7.2021 od 11:00 do 13:59 UTC. Započítavané boli taktiež iba odpovede nad FL 245.

Na rozdiel od prijímača Strahov má prijímač Letňany o niečo menšiu oblasť pokrytia, ale na západe Česka má pokrytie lepšie.



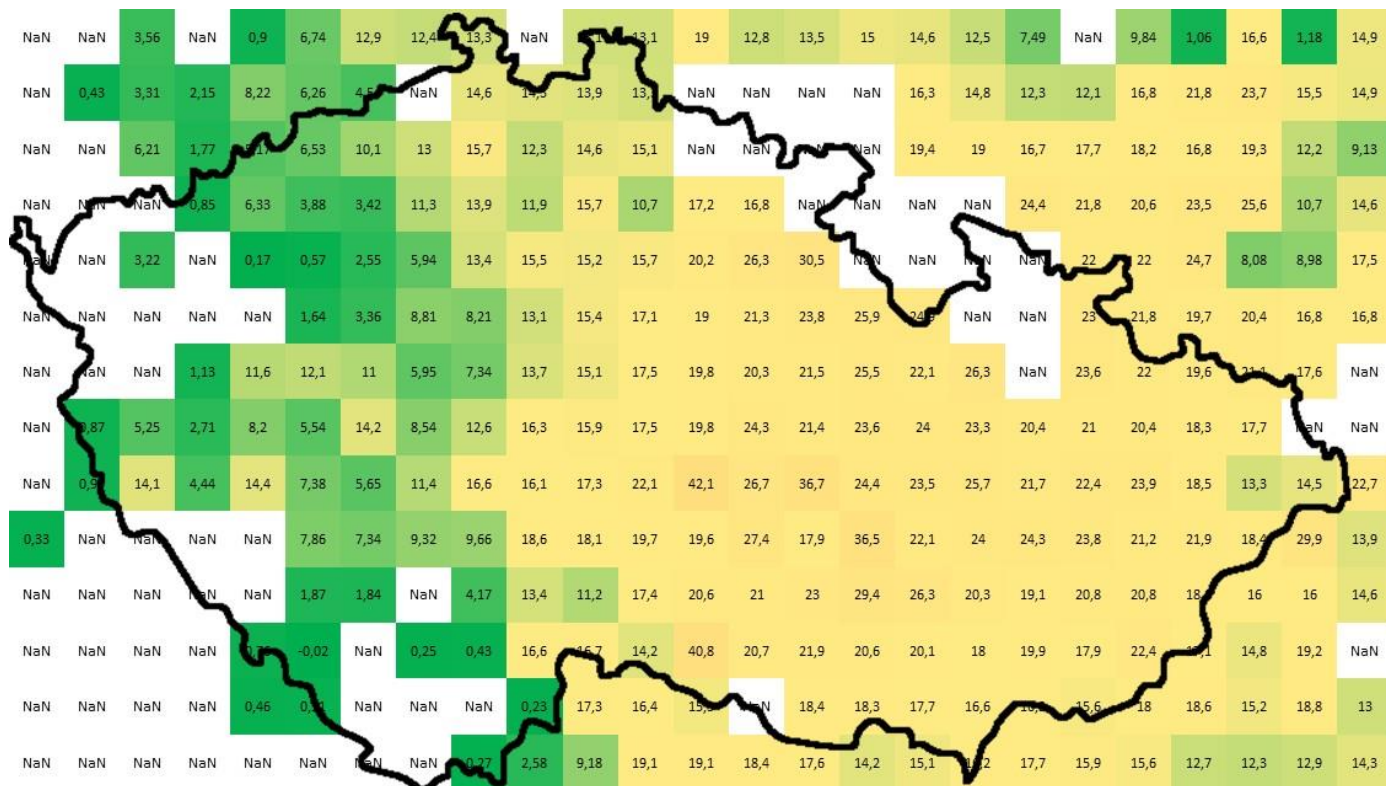
Obr. 24 Závislosť počtu odpovedí za sekundu na vzdialenosti od prijímača ADS-B 3, údaje 16.7.2021 11:00 – 13:59 UTC

Zdroj: vlastná tvorba

Z grafu (Obr. 24) môžeme vyčítať, že počet prijatých odpovedí za sekundu sa znižuje so zvyšujúcou sa vzdialenosťou. Trendová spojnica v grafe vyjadruje lineárnu závislosť v tvare $y = -0,0458x + 11,814$

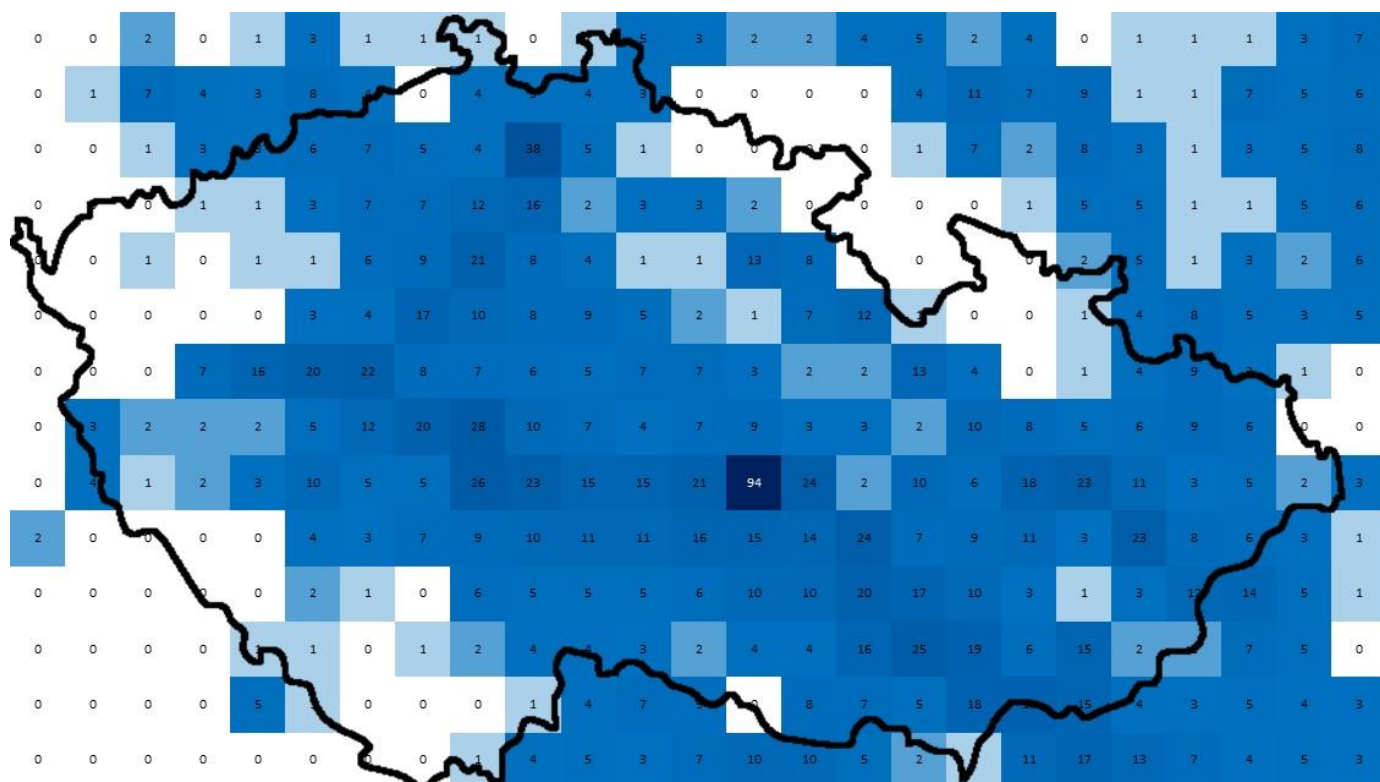
Táto závislosť môže byť výsledkom skutočnosti, že s pribúdajúcou vzdialenosťou výkon prijímača prestáva postačovať na detekciu všetkých vyslaných správ. Vzdialenosť prijatých správ od prijímača je približná, počtu odpovedí za sekundu v danom štvorci bola pridelená vzdialenosť stredu jednotlivých štvorcov od Prahy.

7.3 Prijímač ADS-B 1 – Strahov, noc



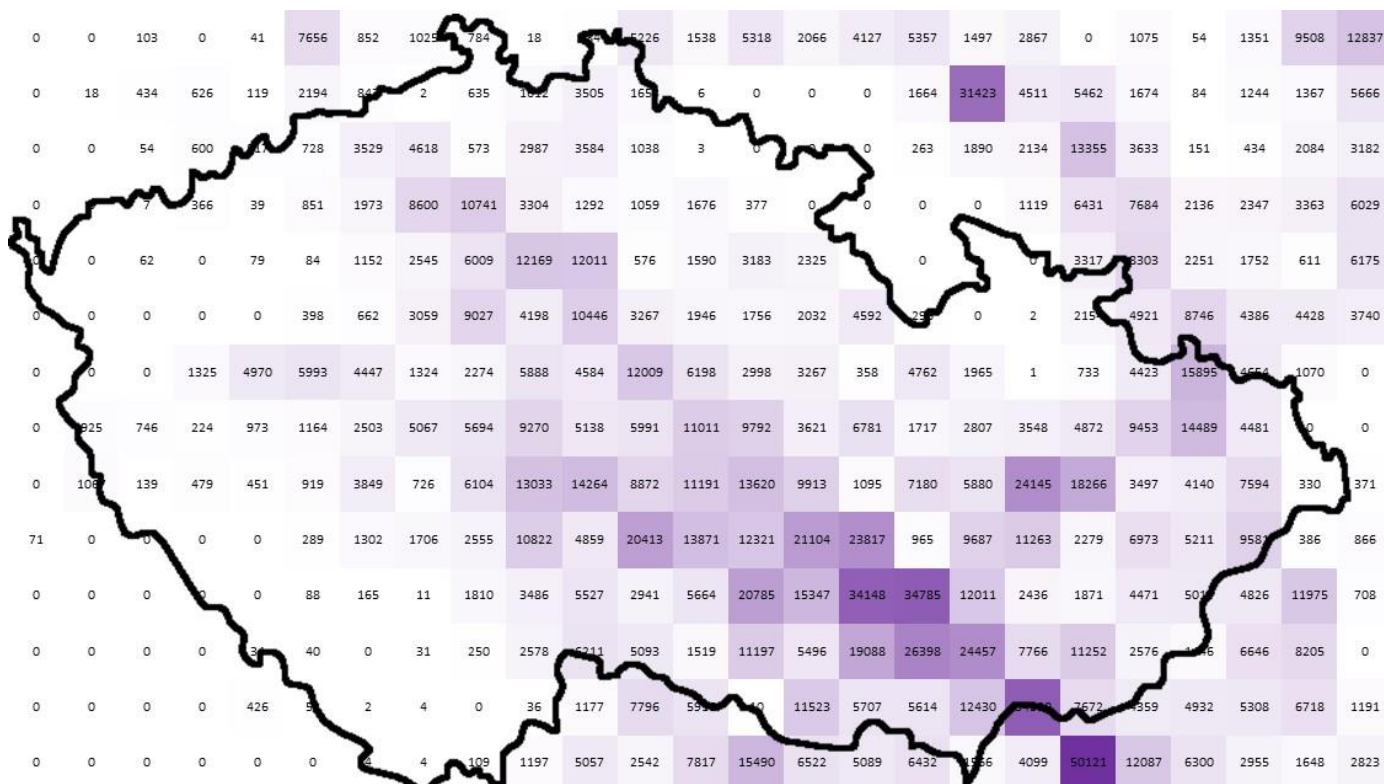
Obr. 25 Priemerné počty odpovedí za sekundu, údaje 15.7.2021 21:00 – 16.7.2021 02:59 UTC nad FL245, ADS-B 1, globálne

Zdroj: vlastná tvorba



Obr. 26 Počty preletov, údaje 15.7.2021 21:00 – 16.7.2021 02:59 UTC nad FL245, ADS-B 1, globálne

Zdroj: vlastná tvorba



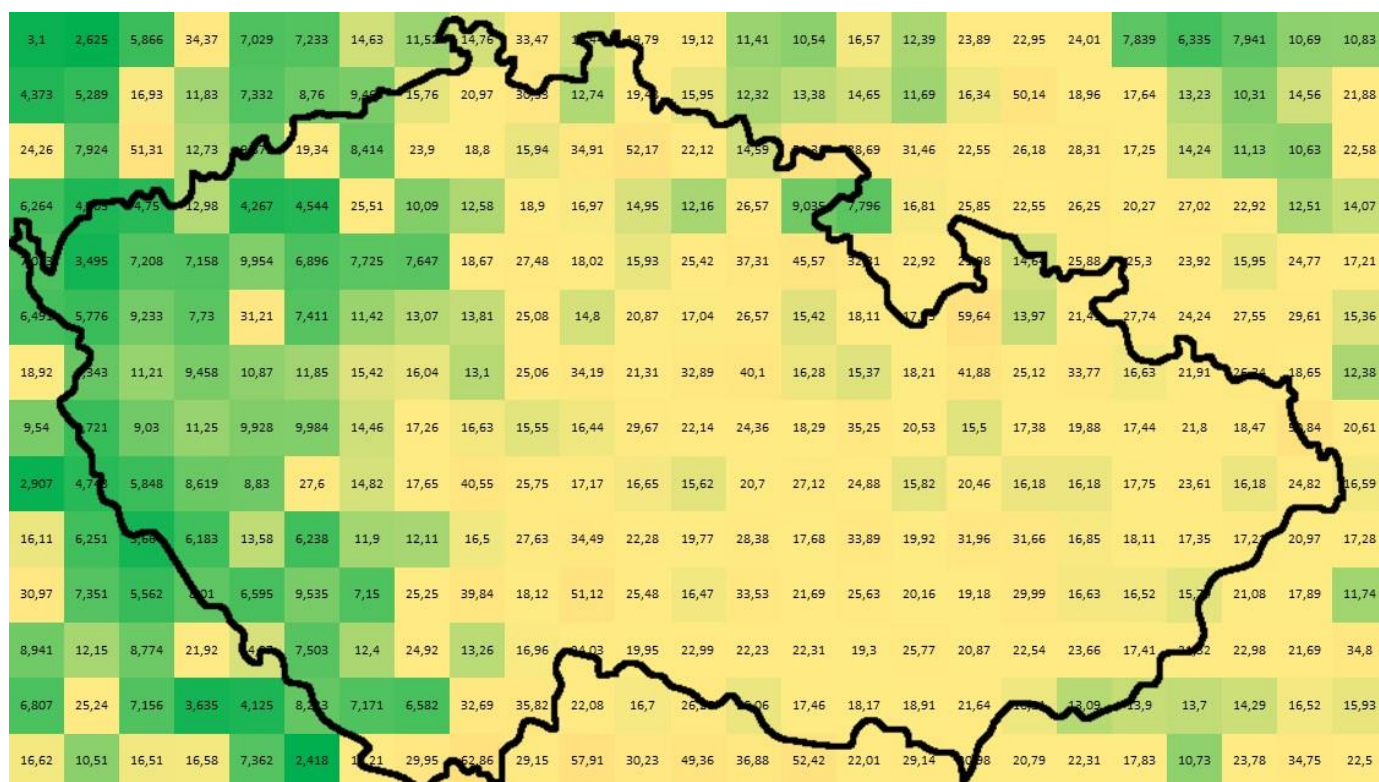
Obr. 27 Celkový počet prijatých odpovedí, údaje 15.7.2021 21:00 – 16.7.2021 02:59 UTC nad FL245, ADS-B 1, globálne

Zdroj: vlastná tvorba

Nočná doba 21:00 až 02:59 UTC s malou intenzitou letovej prevádzky bola vybraná na analýzu, aby sa zistilo, či je pri menšej prevádzke odpovedačmi lietadiel vysielaný nižší počet odpovedí. Mohol by to spôsobiť celkový nižší počet dotazov, tiež menšie prekrytie odpovedí od rôznych lietadiel a prípadne menej odpovedí vysielaných vzájomne medzi blízkymi lietadlami pre fungovanie ich systému TCAS.

Podľa modrého Obr. 26 môžeme jednoznačne povedať, že vo väčšine priestorových elementov sme zaznamenali za 6-hodinovú dobu v noci menej preletov, ako cez deň za 3 hodiny (16.7. 11:00 – 13:59 UTC), na základe získaného počtu odpovedí za sekundu (Obr. 25) sa ale nedá povedať, že by bola intenzita odpovedí od každého lietadla nižšia. To by mohlo teoreticky znamenať, že počet odpovedí za sekundu je v skutočnosti cez deň od jednotlivých lietadiel vyšší (ako detekovaný), ale naše prijímače nezvládajú také množstvo odpovedí detekovať.

7.4 Prijímač ADS-B 1 - Strahov, deň, lokálna metóda



Obr. 28 Počet odpovedí za sekundu, údaje 16.7.2021 11:00 – 13:59 UTC nad FL245, ADS-B 1, lokálne

Zdroj: vlastná tvorba

Obr. 28 môže pôsobiť, že sa pozeráme na situáciu s lepším pokrytím, keďže na obrázku nevidno žiaden štvorec bez hodnoty. Je to však spôsobené lokálnou metódou dekodovania polohy, takže niektoré prijaté informácie o polohe boli výsledne začlenené do úplne iného priestorového elementu, ako v skutočnosti mali byť.

Hodnoty odpovedí za sekundu su napriek tomu smerodajné, ale vhodnejšie je brať do úvahy výsledky na báze globálne dekodovaných polôh.

8 ZÁVER

Frekvencie 1030 a 1090 MHz sa používajú v letectve na vojenskú identifikáciu cieľov a činnosť civilných sekundárnych prehľadových radarov už viac ako 50 rokov. Za ten čas narástlo vo veľkej miere ich využívanie a rozšírila sa infraštruktúra dotazujúca lietadlové odpovedače.

Okrem zobrazenia lietadiel na riadiacich obrazovkách na zemi je funkčnosť lietadlového odpovedača kľúčová aj pre bezpečnosť v prípade zblíženia (TCAS). Frekvencie 1030 a 1090 MHz sú v letectve zásadnými frekvenciami pre viacero systémov, okrem sekundárneho radaru aj (aktívne) multilateračné systémy a vojenská identifikácia. Dá sa očakávať, že miera dotazovania odpovedačov v najbližšom desaťročí ešte stúpne, napríklad aj z dôvodu inštalácie nových oblastných multilateračných systémov s aktívnym dotazovaním, ktoré pre získanie odpovedí odpovedačov používajú aj vlastne generované dotazy. Okrem zníženia efektivity a priepustnosti vzdušného priestoru by prípadné preťaženie týchto základných frekvencií mohlo ohroziť bezpečnosť. Preto je želané monitorovanie aktivity na príslušných frekvenciách a príprava riešení v prípade zhoršenia situácie.

Poloha odpovedača v rámci vzdušného priestoru Českej republiky nie je významný faktor, ktorý by zásadne určoval mieru zaťaženia, ale na juhovýchode územia (pri hraniciach s Rakúskom a Slovenskom) môže byť intenzita odpovedí mierne vyššia. Základné hodnoty - počet nameraných krátkych a dlhých odpovedí dokopy sú v medziach požadovaných predpismi, ale niektoré detailnejšie hodnoty (dlhé odpovede módu S zvlášť) sú podľa analýz Eurocontrolu skokovo, výnimočne nad povolené hranice.

Podarilo sa vytvoriť fungujúci skript v prostredí Matlab na spracovanie dátových súborov s prijatými odpoveďami univerzitnými low-cost ADS-B prijímačmi. Prvá alternatíva skriptu používa polohy dekodované lokálnou metódou, druhá globálnou. Okrem intenzity vyslaných odpovedí sa vypočítavajú aj počty preletov lietadiel danými elementmi priestoru a celkové množstvo prijatých odpovedí z nich. Výsledky sú skreslené určitou nepresnosťou, ktorá je závislá od technických parametrov prijímača a od jeho umiestnenia.

Výsledky by bolo prípadne možné upresniť zlúčením dát zo všetkých dostupných ADS-B prijímačov do analýzy naraz a vyfiltrovaním odpovedí, aby výsledný počet odpovedí za čas nevychádzal z duplicitných správ.

Univerzitné prijímače vyzerajú byť dostatočne výkonné vo vzdialenostiach v rámci Českej republiky, ale niektoré prijímače sú z niektorých smerov tienené prekážkami / terénom.

Na juhu Českej republiky, pri rakúskych hraniciach je vyššia násobnosť prekrytia sekundárnymi radarmi oproti zvyšku územia. V tejto oblasti sú aj o niečo vyššie počty odpovedí odpovedačov lietadiel za sekundu. Napriek vysokej hustote sekundárnych radarov sme pomocou ADS-B prijímačov namerali, že odpovedí na dotazy u lietadiel s módom S vo vzdušnom priestore Česka neprekračujú ani v tejto oblasti hranicu 50 odpovedí za sekundu, čo je minimálna požiadavka pre zvládnutie odpovedača určená Annex 10, zväzkom IV.

V rámci Európy je želaná vyššia spolupráca medzi národnými subjektami zabezpečujúcimi fungovanie prehľadových systémov na zemi. Do možnej miery by mali byť obmedzené dotazy z pozemných systémov, znížený výkon dotazovačov, aby nezaťažovali odpovedače zbytočne ďaleko za potrebný priestor. Dôležitá je aj frekvencia vysielania dotazov, ktorá by mala byť nastavená s ohľadom na frekvencie okolitých zariadení, aby zbytočne nedochádzalo k synchronicite signálov. Alternatívy v niektorých geografických situáciách by boli širšie použitie zdieľaných dotazovacích zariadení medzi viacerými subjektmi poskytujúcimi letecké navigačné služby.

9 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] Skybrary. 2018. Mode S. [ONLINE] Dostupné na:
https://www.skybrary.aero/index.php/Mode_S. [Dňa 2.4.2020].
- [2] Skybrary. 2019. Secondary Surveillance Radar. [ONLINE] Dostupné na:
[https://www.skybrary.aero/index.php/Secondary_Surveillance_Radar_\(SSR\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Secondary_Surveillance_Radar_(SSR)). [Dňa 14.4.2020].
- [3] Helfrick, A., 2012. *Principles of Avionics*. 7th vyd. Leesburg: Avionics Communications.
- [4] Vykonávacie nariadenie Komisie (EÚ) č. 1207/2011 z 22. novembra 2011, ktorým sa ustanovujú požiadavky na výkonnosť a interoperabilitu sledovania pre jednotné európske nebo.
- [5] Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation, Volume IV: Surveillance and Collision Avoidance Systems z roku 2014.
- [6] Lynn P.A.: Secondary Radar. 1987 In: Radar Systems. Macmillan New Electronics Series. Palgrave, London. https://doi.org/10.1007/978-1-349-18748-5_6
- [7] Code7700. 2017. Transponder modes and codes. [ONLINE] Dostupné na:
<https://code7700.com/transponder.htm>. [Dňa 23.6.2020].
- [8] Radartutorial. 2020. Uplink-Formats. [ONLINE] Dostupné na:
<https://www.radartutorial.eu/13.ssr/sr06.en.html>. [Dňa 23.6. 2020].
- [9] ICAO Doc 8168. Procedures for Air Navigation Services – Aircraft Operations Volume I: Flight Procedures z roku 2006.
- [10] Řízení letového provozu: VFR příručka ČR. 2020.
- [11] Wikipedia. 2018. List of transponder codes. [ONLINE] Dostupné na:
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_transponder_codes. [Dňa 25.6.2020].
- [12] Řízení letového provozu: Letecká informační příručka. GEN-1.5. 2020.
- [13] Řízení letového provozu: Letecká informační příručka. ENR-1.6. 2020.
- [14] ICAO Doc 4444. Procedures for Air Navigation Services – Air Traffic Management z roku 2016
- [15] Air Services Australia: Aeronautical Information Publication Australia. ENR-1.6.
- [16] NATS: Aeronautical Information Publication United Kingdom. ENR-1.6.
- [17] ICAO Doc 9924 Aeronautical Surveillance Manual. 5. Vydanie z roku 2010.

- [18] Garmin: GTX 327 Mode A/C Transponder pilot's guide. 2008.
- [19] Garmin: GTX 327 Transponder Installation Manual. 2005
- [20] Becker Avionics: Transponder Mode S Level 2es BXP6403 Installation and Operation. 2018.
- [21] Radartutorial. 2020. Interference. [ONLINE] Dostupné na:
<https://www.radartutorial.eu/18.explanations/ex31.en.html>. [Dňa 2.5.2021].
- [22] Eurocontrol: Analysis of 1030/1090 MHz Frequency Bands Czech Republic. 2015.
- [23] European Aviation Safety Agency: Report to the European Commission. Direction losses in Central Europe on the 5th and 10th of June 2014 In response to letter DH MOVE E2/OW/nd A(2014) sent by the European Commission to the Agency on the 25th of July 2014. 2014.
- [24] The 1090 Megahertz Riddle. 2021. ADS-B Basics. [ONLINE] Dostupné na:
<https://mode-s.org/decode/content/ads-b/1-basics.html>. [Dňa 5.8.2021].

10 ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1 Princíp SSR	16
Obr. 2 Znázornenie vyžarovania radaru v lalokoch	21
Obr. 3 Garmin GTX 327 popis	36
Obr. 4 Umiestnenie antény odpovedača Garmin GTX 327 na spodnej strane trupu	40
Obr. 5 Becker BXP6403	40
Obr. 6 Zariadenia používajúce letecké pásmo medzi 960 a 1215 MHz	47
Obr. 7 Cessna 560XL Citation Excel OK-CAA.....	48
Obr. 8 Polohy zaznamenania údajov použité pre analýzu označené červenými značkami a polohy a časy zberu odpovedí od zvolených lietadiel	49
Obr. 9 Lietadlá zvolené pre analýzu a ich údaje	50
Obr. 10 Nameraný počet odpovedí módu S za 100 ms.....	50
Obr. 11 Počet odpovedí v módoch A a C za 1 sekundu OK-CAA.....	51
Obr. 12 Násobnosť pokrytia strednej Európy SSR.....	53
Obr. 13 Rozloženie sekundárnych radarov v priestore FAB CE a jeho blízkosti	54
Obr. 14 Časť dátového súboru, v ktorom sú zakódované správy prijaté ADS-B prijímačmi Zdroj: vlastná tvorba	55
Obr. 15 Použitá sieť priestorových elementov pre pridelovanie polôh.....	59
Obr. 16 Rozmery jedného štvorca súradnicovej siete	60
Obr. 17 Potenciálne opakované prelety bolo treba ošetriť	61
Obr. 18 Priemerné počty odpovedí za sekundu, údaje 16.7.2021 11:00 – 13:59 UTC nad FL245, ADS-B 1, globálne	63
Obr. 19 Počty preletov, údaje 16.7.2021 11:00 – 13:59 UTC nad FL245, ADS-B 1, globálne	64
Obr. 20 Celkový počet prijatých odpovedí, údaje 16.7.2021 11:00 – 13:59 UTC nad FL245, ADS-B 1, globálne	65
Obr. 21 Priemerné počty odpovedí za sekundu, údaje 16.7.2021 11:00 – 13:59 UTC nad FL245, ADS-B 3, globálne	66
Obr. 22 Celkový počet prijatých odpovedí, údaje 16.7.2021 11:00 – 13:59 UTC nad FL245, ADS-B 3, globálne	67

Obr. 23 Počty preletov, údaje 16.7.2021 11:00 – 13:59 UTC nad FL245, ADS-B 3, globálne	67
Obr. 24 Závislosť počtu odpovedí za sekundu na vzdialenosti od prijímača ADS-B 3, údaje 16.7.2021 11:00 – 13:59 UTC	68
Obr. 25 Priemerné počty odpovedí za sekundu, údaje 15.7.2021 21:00 – 16.7.2021 02:59 UTC nad FL245, ADS-B 1, globálne	69
Obr. 26 Počty preletov, údaje 15.7.2021 21:00 – 16.7.2021 02:59 UTC nad FL245, ADS-B 1, globálne	69
Obr. 27 Celkový počet prijatých odpovedí, údaje 15.7.2021 21:00 – 16.7.2021 02:59 UTC nad FL245, ADS-B 1, globálne	70
Obr. 28 Počet odpovedí za sekundu, údaje 16.7.2021 11:00 – 13:59 UTC nad FL245, ADS-B 1, lokálne	71

11 ZOZNAM POUŽITÝCH TABULIEK

Tabuľka 1 Časové intervaly medzi jednotlivými pulzmi pri rôznych módoch	22
Tabuľka 2 Schopnosti TCAS (ACAS) varovať pri rôznom vybavení konfliktného lietadla	35
Tabuľka 3 Garmin GTX 327 Medzné hodnoty uhlov pohľadu	39
Tabuľka 5 Všeobecné vyťaženie (occupancy) frekvencií 1030 a 1090 MHz	52
Tabuľka 6 Vyťaženie spôsobené TCASom	52
Tabuľka 7 Vyťaženie spôsobené WAM	52

12 ZOZNAM PRÍLOH

- Skripty v Matlabe na výpočet počtu odpovedí v elementoch priestoru