



ALTERNATÍVNE PROTIZRÁŽKOVÉ SYSTÉMY V CIVILNOM LETECTVE

Richard Tabernaus
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Branislav Kandra
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

The article describes various alternative and traditional anti-collision avoidance systems in civil aviation. This article focuses on experimental measurements of the reliability of the PCAS system in the mountainous terrain around the city Žilina. Article also contains a technical description of the system and outlines the coverage of Slovak airspace by the secondary surveillance radar. Finally, the article evaluates the PCAS system and supports its implementation under specific conditions into the operation of LVVC during training flights to improve situational awareness and safety.

Keywords

Anti-collision avoidance systems, TCAS, PCAS, FLARM, NEURONE

1. Úvod

S nárastom objemu leteckej dopravy sa zvyšujú nároky na koordináciu a efektívnosť prevádzky a je nevyhnutné zabezpečiť spoľahlivé riešenie na minimalizovanie zrážok lietadiel, ktoré často končia fatálne. Z tohto dôvodu v 80tych rokoch minulého storočia sa začal rozvíjať ICAO štandard ACAS, definujúci protizrážkový systém založený na signáloch z odpoedača sekundárneho radaru, ktorý avšak je od pozemného vybavenia nezávislý a poskytuje pilotovi informácie o potencionálnych konfliktných lietadlách. V súčasnej dobe sa už využívajú rozličné protizrážkové systémy, medzi ktoré patria napríklad TCAS, FLARM alebo PCAS. [1]

Práve PCAS je cenovo dostupná alternatíva k systému TCAS, ktorý využívajú vo veľkom primárne dopravné lietadlá a predstavuje jednoduchú identifikáciu a návrhy na predchádzanie kolízií vo vzduchu. Systém PCAS môže byť veľkým prínosom v oblasti, kde pokrytie primárnym radarom je slabé zabezpečené. Navyše, z dôvodu jeho nízkych nákladov na prevádzku a vysokú mieru mobilnosti je toto zariadenie atraktívne nielen pre všeobecné letectvo ale aj pre menšie spoločnosti vykonávajúce letecké práce alebo aj pre výcvikové organizácie. [2]

Hlavným cieľom článku je experimentálne overenie alternatívneho systému PCAS v rámci výcvikovej organizácie LVVC v Žiline v reálnych podmienkach na zemi aj vo vzduchu aby sa zistilo, ako systém dokáže identifikovať hrozby a predchádzať riziku, akú má spoľahlivosť, dosah, a či je prakticky využiteľný aj pri výcvikových letoch v geograficky náročnej oblasti kde pokrytie sekundárnym radarom môže byť problém, akým je práve kopcovitý terén v okolí Žiliny. Článok navyše obsahuje odporúčania pre implementáciu alebo prípadne zlepšenie systému na špecifickú potrebu leteckých škôl v podobných podmienkach.

2. Metodika a metódy skúmania

Táto kapitola článku sa venuje stanoveným primárnym a parciálnym cieľom článku a výskumným metódam, ktoré boli použité pri plnení daných cieľov.

Článok obsahuje nasledujúce primárne ciele:

- Zistiť spoľahlivosť systému PCAS v členitom teréne v okolí Žiliny v závislosti od jeho využitia pre výcvikové lety LVVC na zlepšenie situačného povedomia študentov a inštruktorov a bezpečnosti
- Navrhnuť prípadné využitie systému

Primárnymi zdrojmi informácií v článku boli internetové zdroje, odborné články, manuály, prednášky a vlastné zozbierané informácie.

Pri písaní článku bola využitá metóda pozorovania a porovnania. Prístroj PCAS bol umiestnený počas výcvikových letov na palubu lietadla Viper SD4 a počas činnosti letov boli získavané fotografie pri zmene indikácie prístroja. Indikované údaje prístrojom ako relatívna vzdialenosť, relatívna výška a relatívny smer hrozby boli porovnávané s údajmi na stránke FlightRadar24, kde pre presnosť bolo započítané aj 5 sekundové oneskorenie stránky. Relatívna vzdialenosť bola určovaná pomocou aplikácií EpicPen a ScreenRuler, ktoré na základe mierky vedeli zistiť reálnu vzdialenosť medzi dvoma bodmi.

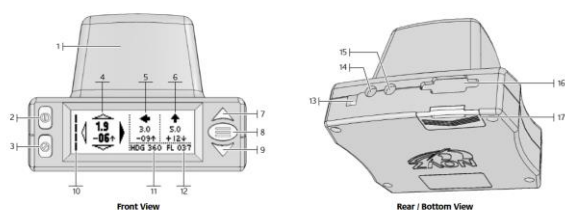
Na základe tohto porovnania bola štatisticky vyhodnotená spoľahlivosť systému a syntézou údajov určené potencionálne využitie takého pomocného prístroja pre zvýšenie bezpečnosti a situačného povedomia počas prevádzky lietadiel vykonávajúcich lety aj v členitom teréne v okolí Žiliny.

3. Výsledky

Táto časť článku sa venuje krátkemu opisu systému PCAS a výsledkom meraní.

3.1. Systém PCAS

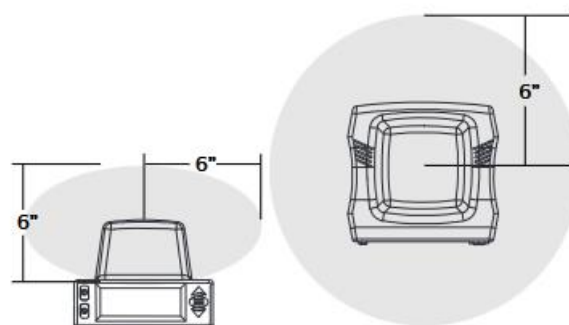
Obrázok 1 zobrazuje použitý typ prístroja PCAS. [2]



Obrázok 1 – Technický popis zariadenia PCAS [2]

1. Všesmerová anténa
2. Tlačidlo napájania
3. Tlačidlo na vypnutie zvukových výstrah
4. Displej na identifikáciu primárnej hrozby
5. Displej na identifikáciu sekundárnej hrozby
6. Displej na identifikáciu terciárnej hrozby
7. Tlačidlo „hore“
8. Tlačidlo „menu“
9. Tlačidlo „dole“
10. Indikácia hlasitosti prístroja
11. Kurz lietadla v ktorom sa prístroj nachádza
12. Letová hladina lietadla v ktorom sa prístroj nachádza
13. Napájanie
14. Audio out
15. Audio in
16. RS-232 konektor
17. Konfiguráčné spínače PCAS

Tento prístroj na správne fungovanie potrebuje byť umiestnený tak, že šesťpalcový priestor (15,24 cm) guľový vyznačený šedou farbou na obrázku 2 bude prázdny, z dôvodu zamedzenia rušenia antény. Zároveň kabeľáž napájania prístroja nesmie byť vyššie, ako je základňa antény systému. [2]

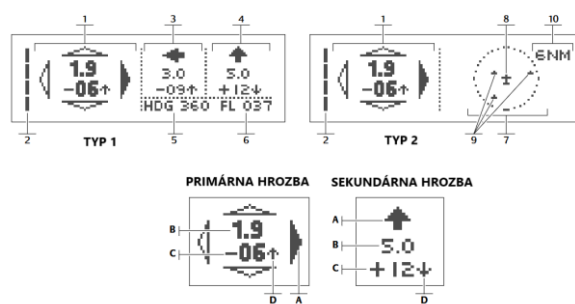


Obrázok 2 – Nutnosť voľného priestoru okolo všesmerovej antény systému PCAS [2]

Prístroj je napájaný adaptérom, ktorý je súčasťou balenia. Adaptér dokáže pracovať na 12 až 40 voltovej jednosmernej sieti a pripája sa priamo v kabíne lietadla. [2]

Dosah prístroja je maximálne 6 NM a výškovo +/- 2 500 stôp. Prístroj má navyše pevný výškový limit stanovený na hladinu FL 220, kde nad túto hladinu prístroj už nebude indikovať žiadne lietadlá. Tento dosah je konfigurovateľný a dá sa znižovať, v závislosti od potrieb používateľa. [2]

Obrazovku prístroja je možné konfigurovať na dva rôzne typy, ktoré je možné vidieť na obrázku 3. Na obrázku je taktiež možné vidieť spôsob, akým PCAS indikuje hrozby. [2]



Obrázok 3 – Integrovaný displej prístroja PCAS [2]

Na obrázku 3 možno vidieť nasledovné parametre : [2]

1. Indikácia primárnej hrozby
2. Indikácia hlasitosti
3. Indikácia sekundárnej hrozby (iba typ 1)
4. Indikácia terciárnej hrozby (iba typ 1)
5. Indikácia kurzu (iba typ 1)
6. Indikácia výšky (iba typ 1)
7. Grafické znázornenie situácie
8. Lietadlo vybavené prístrojom PCAS
9. Ostatné zachytené lietadlá
10. Nastavený dosah prístroja

Jednotlivé hrozby prístroj zobrazuje nasledovne : [2]

1. Indikácia smeru
2. Indikácia vzdialenosti v NM
3. Indikácia relatívnej výšky
4. Indikácia stúpajúceho/klesajúceho trendu lietadla narušiteľa

Smer hrozby je indikovaný pomocou kompasovej ružice na displeji primárnej hrozby, prípadne šípkou v prípade sekundárnej hrozby. Dôležitými poznatkom je, že smer nie je závislý od svetových strán, ale je závislý od momentálneho kurzu. Šípka hore teda znázorňuje hrozbu pred lietadlom. V prípade primárnej hrozby môžu byť rozsvietené dva pri sebe umiestnené smery, čo indikuje polohu hrozby niekde medzi týmito kvadrantami. [2]

Primárne hrozby sú indikované nasledujúcim spôsobom. V prvom rade prístroj indikuje lietadlá s najnižšou vertikálnou separáciou. Následne prístroj vyhodnocuje vertikálny trend hrozby a v poslednom rade vertikálny trend lietadla vybaveného systémom PCAS. [2]

Relatívna výška je indikovaná v 100 stopových inkrementoch, a závisí od presnosti údajov z odpovedačov lietadiel. Relatívna vzdialenosť je vo vzdialenosti menšej ako 2 NM indikovaná v 0,1 NM inkrementoch, vo vzdialenosti 2-3 NM v 0,2 NM inkrementoch a vo vzdialenostiach 3-6 NM v celých námorných míľach. Relatívny smer je rozdelený na 90 stupňové kvadranty. [2]

3.2. Výsledky merania

Táto časť článku sa venuje zhrnutím výsledkov zo všetkých piatich experimentálnych meraní systému PCAS. Celkový čas merania bol 12 hodín a 40 minút. Merania boli rozvrhnuté do piatich výcvikových letov počas jesene 2024 a jari 2025. Až 66 krát vstúpili rôzne lietadlá do dosahu zariadenia PCAS a z toho 40 krát boli aspoň na niekoľko sekúnd správne indikované dvoma parametrami.

Tabuľka 1 znázorňuje rozdelenie zachytených a nezachytených lietadiel prístrojom. Počas letu v okruhovej výške 2 400 stôp a nižšie bolo zachytených iba 13 lietadiel z 29, čo predstavuje úspešnosť zachytenia 45 %. Na druhú stranu vo výškach vyšších ako 4 000 stôp úspešne prístroj zachytil až 85 % lietadiel. Nad výškou 4 200 to predstavuje už 90 % úspešne zachytených lietadiel.

Tabuľka 1 – Počet zachytených a nezachytených lietadiel prístrojom [Zdroj: Autor]

Parametre	Zachytené lietadlá prístrojom	Nezachytené lietadlá prístrojom
Okruhová výška do 2 400 stôp	13	16
Nižšia výška od 2 400 do 4 000 stôp	3	6

Výška nad 4 000 stôp	24	4
Suma	40	26

V tabuľke 2 je možné vidieť, koľkokrát prístroj správne vyhodnotil relatívnu výšku a relatívny smer. V 92,5 % prípadoch bola relatívna výška indikovaná správne na presnosť 200 stôp. Relatívny smer na presnosť pol kvadrantu bol presný v 82,5 % prípadoch.

Tabuľka 2 – Presnosť indikácií relatívnej výšky a smeru prístroja PCAS [Zdroj: Autor]

Parametre	Okruh do 2 400 stôp	Priestor nad 2 400 stôp	Suma
Správne vyhodnotená výška	2	35	37
Nesprávne vyhodnotená výška	0	3	3
Správne vyhodnotený smer	3	30	33
Nesprávne vyhodnotený smer	0	7	7

Najdôležitejším poznatkom je ale tabuľka 3, ktorá znázorňuje počet správneho zachytenia lietadiel prístrojom v relatívnej vzdialenosti menšej, ako je 3 NM a za podmienky, že indikácia hrozby v tejto vzdialenosti bola nepretržitá, s tolerovaným maximálne jedným 20 sekundovým výpadkom indikácie.

Tabuľka 3 – Počet zachytených a nezachytených lietadiel vo vzdialenosti 3 NM za špecifických podmienok [Zdroj: Autor]

Parametre	Správne zachytené (3NM)	Nesprávne zachytené (3NM)
Okruhová výška do 2 400 stôp	7	21
Nižšia výška od 2 400 do 4 000 stôp	1	4
Výška nad 4 000 stôp	13	2
Suma	21	27

Na základe tabuľky 3 až 56,25 % lietadiel nespĺňalo tieto kritéria bezpečnej a včasnej indikácie. V okruhovej výške to predstavovalo až 75 % nezachytených lietadiel. Vo vyšších výškach ako 4 000 stôp prístroj mal len 13 % neúspešnosť a až 87 % lietadiel bolo indikovaných správne.

Okrem 40tich úspešných zachytení lietadiel systém indikoval až 7 falošných hrozieb. Tieto falošné hrozby boli často indikované

v súvislosti s reálnou hrozbou, kde jeden parameter bol chybný a ostatné parametre boli totožné s reálnou hrozbou. V niektorých prípadoch prístroj vyhodnotil falošnú hrozbu až nebezpečne blízko.

Presnosť relatívnej vzdialenosti vyhodnocovať nebudeme. Hodnota relatívnej vzdialenosti vo väčšine prípadov experimentu bola až dvojnásobne chybná. Najpresnejšie prístroj ukazoval relatívnu vzdialenosť lietadiel, ktoré sa nachádzali vo vzdialenostiach hraničiacich dosahu prístroja.

3.3. Diskusia

Testovanie systému PCAS poukázalo na jeho výhody a nedostatky. Systém bol otestovaný v rôznych podmienkach členitého terénu v okolí Žiliny, kde dosah sekundárneho radaru je obmedzený.

Hlavnou výhodou takéhoto systému je jeho jednoduchosť, keďže takýto systém nepotrebuje byť zabudovaný do avioniky lietadla, nakoľko disponuje vlastným displejom a funguje na základe odpočúvania odpovedí z odpovedačov sekundárneho radaru, ktorými je prevažná väčšina lietadiel vybavená, nakoľko tento systém je dnes už úplne bežný. Žilinská univerzita v Žiline disponuje dvoma takýmito prístrojmi, a je veľmi jednoduché pred letom si ho vyzdvihnúť a veľmi jednoducho zapojiť do lietadla.

Prístroj PCAS na základe výsledkov z experimentálnych meraní je veľmi nespoľahlivý v nízkych okruhových výškach. V týchto výškach je naozaj potrebné byť obozretný pri vstupe do okruhu a nespoliehať sa na indikácie zo systému.

Vo vyšších výškach nad 4 200 stôp už ale prístroj vo viac ako 90 % prípadoch fungoval správne. Pokrytie sekundárnym radarom vo vyšších letových hladinách je už oveľa lepšie, čo sa preukázalo aj na spoľahlivosti prístroja. Až 87 % lietadiel bolo správne indikovaných prístrojom v relatívnej vzdialenosti menšej ako 3 NM.

Indikácie relatívnej výšky boli prevažne počas celého testovania správne. Vo väčšine prípadov sa jednalo iba o malé rozdiely do 200 stôp. Indikácie relatívneho smeru boli podobne spoľahlivé, avšak pri zatáčkach prístroj často začal vyhodnocovať nesprávny relatívny smer. Na druhú stranu indikácie o vzdialenosti boli počas celého testovania prevažne chybné, miestami dvojnásobne a tento údaj nie je možné pri používaní prístroja spoľahlivo používať.

Hoci protizrážkové prístroje fungujúce na základe systému ADS-B alebo FLARM môžu byť spoľahlivejšie, staršie lietadlá takýmito systémami často nedisponujú. Táto skutočnosť bola preukázaná aj počas testovania, kedy lietadlá PA-28 imatrikulačnej značky OM-DCR a OM-ARW, ktoré boli vybavené iba odpovedačom SSR boli viditeľné iba na systéme PCAS. Na obrazovke pre ADS-B in, ktorou disponujú niektoré lietadlá Viper SD4 prevádzkované Žilinskou univerzitou v Žiline z tohto dôvodu neboli vôbec zobrazené.

Systém PCAS nie je vhodným protizrážkovým prístrojom pre využívanie v nižších výškach na okruhoch. Pri takýchto letoch je využiteľnosť prístroja minimálna a lietadlá využívané na miestnu činnosť okruhov sú prevažne vybavené systémom ADS-B in, ktorý je nezávislý od signálov SSR.

Prístroj sa ale preukázal ako veľmi vhodným poradným a doplnkovým prostriedkom na identifikáciu lietadiel, ktoré sa nachádzajú vo vyšších výškach ako 4 200 stôp, a takých lietadiel, ktoré nie sú vybavené systémom ADS-B. Využívanie prístroja na palube lietadiel Viper SD4 vykonávajúcich činnosť v priestore, kde sa nachádzajú zostupové a približovacie roviny môže výrazne prispieť k bezpečnosti výcvikových letov, kde prístroj dokáže efektívne zachytiť IFR prevádzku, ktorá sa môže nachádzať v oblačnosti. Lietadlá lietajúce podľa prístrojov sa budú nachádzať zvyčajne vyššie, a zachytenie takejto prevádzky môže zvýšiť situačné povedomie žiaka alebo inštruktora. Nakoľko takéto dva prístroje sú k dispozícii, bolo by vhodné ich zakomponovať do výcviku ako redundanciu vizuálnej identifikácie práve na lietadlá lietajúce základný výcvik podľa VFR.

4. Záver

Cieľom tohto článku bolo posúdiť alternatívne protizrážkové systémy so zameraním na všeobecné letectvo a vykonať na jednom z nich experimentálne overenie činnosti.

Článok sa venoval vyhodnoteniu vykonaných experimentov. Počas piatich experimentálnych meraní s celkovým časom 12 hodín a 40 minút bolo otestovaných až 66 jednotlivých situácií, kedy lietadlo vletelo do dosahu zariadenia. Tieto merania dokázali, že systém PCAS v členitom teréne v okolí Žiliny dokáže spoľahlivo zachytiť prevádzku až pri výškach lietadiel nad 4 200 stôp. V nižších okruhových výškach je tento systém značne nespoľahlivý.

Na základe týchto poznatkov odporúčam využitie dvoch prístrojov PCAS, ktoré vlastní Žilinská univerzita v Žiline, pri výcvikových letoch v lietadlách, ktoré plánujú lietať v oblasti s IFR prevádzkou nachádzajúcou sa v oblačnosti pri zhoršenej viditeľnosti. Tieto prístroje po oboznámení sa s ich výhodami a nevýhodami prispievajú k zvýšeniu situačného povedomia a bezpečnosti. Ich jednoduchá inštalácia a odinštalácia z lietadla zabezpečí flexibilitu používania aj v ich menšom počte.

PodĎakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: "Výskum a vývoj bezkontaktných metód pre získavanie geopriestorových údajov za účelom monitoringu lesa pre zefektívnenie manažmentu lesa a zvýšenie ochrany lesov", kód ITMS 313011V465, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Referencie

- [1] EUROCONTROL . ACAS Guide [online]. 2022. In: eurocontrol.int. Dostupné na: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2022-03/eurocontrol-safety-acas-guide-4-1.pdf> [citované 2024-12-02]
- [2] ZAON SYSTEMS. XRX Manual [online]. 2005. In: aircraftspruce.com. Dostupné na: <https://www.aircraftspruce.com/catalog/pdf/xrxmanual.pdf> [citované 2025-03-02]