https://doi.org/10.26552/ pas.Z.2025.1.14

UNIVERSITY OF ŽILINA

NOVÉ TECHNOLÓGIE VO VŠEOBECNOM LETECTVE

Matej Imriš
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

František Jůn
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

The final thesis focuses on the use of new technologies in the field of communication, navigation, and surveillance systems in general aviation. The thesis aims to supplement the study material for the subject Aeronautical Navigation 2, providing the reader with a comprehensive overview of modern systems used in aviation, their development, and functionality. The work focuses on the overview and analysis of current trends in digital communication systems such as Datalink, ACARS, CPDLC, and SATCOM, navigation technologies including Inertial Navigation and Reference Systems (INS, IRS), as well as the Flight Management System (FMS), and surveillance systems such as ADS-B and multilateration. The thesis also includes a historical context of the development of such aviation systems and an overview of the legislative frameworks at international, European, and national levels. As part of the design section of thesis, a proposal was written for the modernization of the aircraft fleet of the University of Žilina, with the aim of upgrading and providing training in accordance with current technological trends.

Keywords

Digital communication, Navigation systems, Surveillance systems, DATALINK

1. Úvod

V posledných rokoch dochádza v oblasti letectva k dynamickému rozvoju technológií, najmä v oblasti digitálnej komunikácie, navigácie a prehľadových systémov. Tieto zmeny už dávno nie sú doménou len komerčnej leteckej dopravy a postupne prenikajú aj do prostredia všeobecného letectva. Dôraz sa kladie na zvyšovanie bezpečnosti, zefektívnenie výcviku pilotov a zjednodušenie prevádzky

S rozvojom technológií však rastie aj potreba aktualizovať učebné materiály, aby reflektovali nové trendy a používané systémy. Vzhľadom na tieto potreby vznikol návrh záverečnej práce, ktorého cieľom je spracovať prehľad moderných technológií v oblasti leteckej komunikácie a dátových systémov. Výsledný materiál má slúžiť ako doplnok pri výučbe predmetu Letecká navigácia 2 na Katedre leteckej dopravy Žilinskej univerzity v Žiline.

Práca sa primárne zameriava na digitálne komunikačné systémy, ako sú Datalink, ACARS, CPDLC a SATCOM. Sekundárne sa venuje aj navigačným a prehľadovým systémom, ktoré s touto problematikou úzko súvisia.

Pri spracovaní boli využité odborné články, publikácie a knižné zdroje. Získané informácie boli starostlivo vybrané, preložené a spracované do podoby vhodnej pre študentov. Okrem teoretického spracovania obsahuje práca aj návrh, ako by mohli byť moderné technológie implementované do výcvikovej leteckej techniky používané na univerzite.

Obsah práce je rozdelený do troch hlavných častí:

- Prvá kapitola sa venuje legislatívnemu rámcu a historickému vývoju komunikačných a navigačných systémov v letectve, od jeho začiatkov až po súčasnosť.
- Druhá kapitola predstavuje samotné moderné technológie. Podrobne opisuje digitálnu komunikáciu (Datalink, ACARS, CPDLC, SATCOM), základné princípy inerciálnych systémov (INS, IRS) a systém FMS (Flight Management System). Kapitola sa venuje aj prehľadovým technológiám ako ADS-B a multilaterácia, ktoré dnes zohrávajú kľúčovú úlohu aj vo všeobecnom letectve.
- Tretia kapitola sa sústreďuje na praktické využitie týchto systémov v lietadlách Žilinskej univerzity. Analyzuje možnosti dovybavenia lietadiel, aby študenti získali reálnu skúsenosť s modernou avionikou, najmä v oblasti prístrojových letov.

Cieľom práce je vytvoriť prehľadný text, ktorý bude slúžiť ako praktický učebný materiál. Dôraz je kladený na zrozumiteľnosť, prepojenie teórie s praxou a prispôsobenie obsahu potrebám študentov letectva.

2. Predpisové požiadavky na COM-NAV

Letecká komunikácia (COM) a navigácia (NAV), v práci označované ako COM-NAV, sú neoddeliteľnou súčasťou bezpečnej, efektívnej a ekonomickej prevádzky letectva. Od počiatkov letectva bolo nevyhnutné zabezpečiť spoľahlivú komunikáciu medzi posádkami lietadiel a riadením letovej prevádzky, ako aj presnú navigáciu počas letu. S rozvojom letectva dochádzalo aj k postupnému vývoju technológií a regulácií v oblasti COM-NAV. Modernizácia COM-NAV systémov priniesla nové technologické možnosti, ale aj právne výzvy, predovšetkým v oblasti bezpečnosti a efektívneho využívania obmedzených zdrojov, ako je napríklad frekvenčné spektrum. Významnú úlohu pri tvorbe regulačných požiadaviek zohrávajú organizácie ako ICAO (International Civil Aviation Organization), EASA (European Union Aviation Safety Agency) a národné letecké úrady, na Slovensku Dopravný úrad Slovenskej republiky. Táto kapitola je rozdelená na historický prehľad vývoja komunikácie a navigácie a prehľad právneho rámca na medzinárodnej, európskej a národnej úrovni.

2.1. Historický vývoj komunikačných a navigačných systémov

Rozvoj komunikačných a navigačných systémov bol kľúčovým faktorom pre zvýšenie bezpečnosti a efektívnosti letectva. Postupný prechod od základných signalizačných metód k rádiovým a satelitným technológiám výrazne zlepšil presnosť navigácie aj koordináciu medzi pilotmi a riadením letovej prevádzky. V tejto časti je hlavný prehľad vývoja systémov COM-NAV vo svete i v Československu.

2.1.1. Historický vývoj komunikačných systémov

Počiatky komunikácie siahajú k vynálezu Morseovej abecedy Samuelom F. Morseom, ktorá našla uplatnenie aj v neskorších navigačných technológiách. Vývoj prenosových zariadení bol predovšetkým podporený aj prácou W. Cooka a Ch. Wheatstona. Chápanie využitia elektromagnetického poľa, ktoré Clarkom Jamesom Maxwellom pochopil, viedlo k vývoju bezdrôtového prenosu, ktorý bol aplikovaný v železničnej, vojenskej a neskôr aj leteckej doprave. [1]

Koncom 19. storočia sa uskutočnili prvé pokusy s rádiovým spojením cez Atlantik, no reálne využitie v letectve prišlo až po zdokonalení rádiotelegrafických zariadení. Na území Československa sa prvé pokusy s rádiotelefóniou v letectve uskutočnili koncom 20. rokov 20. storočia. Letecká spoločnosť ČSA v roku 1933, mala svoje lietadlá vybavené rádiotelegrafickými stanicami a zaradila do posádok aj rádiotelegrafistov. [2]

2.1.2. Historický vývoj navigačných systémov

Základy rádiovej navigácie môžeme sledovať už v 19. storočí výskumom rádiových vĺn Heinrichom Hertzom a Jamesom Clerk Maxwellom. Prvé reálne využitie rádiových vĺn na detekciu kovových objektov, ktoré predstavujú začiatky radaru sa uskutočnilo v 30. rokoch 20. storočia v Spojenom kráľovstve. [3]

V rovnakom období sa rozvíjali aj technológie ako rámové antény a rádiogoniometre na určovanie polohy lietadiel triangulaciou. Neskôr sa začali používať NDB (nesmerové majáky) a systémy ako VOR/DME, ktoré umožnili presnejšie smerové vedenie a meranie vzdialenosti. Prechod na moderné navigačné technológie pokračoval v neskorších rokoch, zavedením inerciálnych navigačných systémov (INS) a neskôr satelitnej navigácie pomocou GPS a SBAS, ktoré priniesli revolučnú presnosť v globálnom určovaní polohy. [2], [4], [5], [6]

2.2. Predpisové požiadavky

Spoľahlivé a regulované fungovanie COM-NAV systémov je zabezpečené prostredníctvom právnych noriem na medzinárodnej, európskej a národnej úrovni, ktoré stanovujú technické špecifikácie, bezpečnostné požiadavky a prevádzkové normy.

2.2.1. Medzinárodná legislatívna úprava

Základným dokumentom medzinárodného leteckého práva je Chicagský dohovor (1947), ktorý viedol k založeniu Medzinárodnej organizácie pre civilné letectvo (ICAO). Dôležité sú technické prílohy (Annexy) ICAO, pre naše potreby predovšetkým Annex 10 (Letecké telekomunikácie) a Annex 11 (Služby riadenia letovej prevádzky), ktoré definujú požiadavky aj na komunikačné a navigačné systémy. [7], [8]

Medzi ďalšie významné dokumenty patrí Doc 8168 (PANS-OPS), ktorý obsahuje odporúčania a postupy pre lety IFR podľa rádio-navigácie a GPS. [9]

2.2.2. Európska legislatívna úprava

Na úrovni Európskej únie sa letecká legislatíva v oblasti COM-NAV riadi predovšetkým nariadeniami a smernicami prijatými Európskou radou a Európskym parlamentom. Organizácie ako EUROCONTROL a EASA zohrávajú kľúčovú úlohu pri harmonizácii bezpečnostných štandardov. [7], [10]

2.2.3. Národná legislatívna úprava

V Slovenskej republike je právny rámec letectva obsiahnutý v Zákone č. 143/1998 Z.z. o civilnom letectve. Dopravný úrad SR vykonáva štátny odborný dozor a vydáva letecké predpisy typu „L“, ktoré zabezpečujú aplikáciu štandardov ICAO a EÚ. [8], [11] Informácie o povinnom vybavení lietadiel sú publikované v AIP SR, najmä v častiach GEN a ENR. [12]

3. Využitie nových technológii vo všeobecnom letectve

V posledných desaťročiach dochádza v oblasti letectva k dynamickému technologickému pokroku, ktorého cieľom je zvýšiť bezpečnosť, efektivitu a spoľahlivosť leteckej dopravy. Tento trend sa neobmedzuje iba na komerčnú leteckú dopravu, ale čoraz viac zasahuje aj oblasť všeobecného letectva, vrátane výcvikových lietadiel. Moderné technológie v oblasti komunikácie, navigácie a prehľadových systémov sa stávajú kľúčovými nástrojmi na zvyšovanie štandardov v prevádzke lietadiel všeobecného letectva. V tejto kapitole je spracovaný prehľad hlavných inovácií, ktoré nachádzajú uplatnenie v oblasti digitálnej komunikácie, navigačných riešení a prehľadových technológií.

3.1. Digitálna komunikácia

S rastúcimi požiadavkami na bezpečnosť a efektivitu prevádzky dochádza k zásadnému posunu od tradičnej hlasovej komunikácie k automatizovaným dátovým systémom. Digitálne komunikačné technológie umožňujú spoľahlivý prenos informácií medzi lietadlom a pozemnými stanicami prostredníctvom textových správ, čím znižujú riziko chýb a zvyšujú plynulosť letovej prevádzky.

3.1.1. Datalink

Systém Datalink predstavuje modernú formu výmeny informácií medzi lietadlom a pozemnými systémami prostredníctvom textových správ. V európskom vzdušnom priestore je štandardizovaný na základe siete Aeronautical Telecommunications Network (ATN) a využíva VDL Mode 2 ako hlavný spôsob pre prenos dát. Použitie Datalinku umožňuje efektívne prenášať prevádzkové pokyny a informácie riadenia letovej prevádzky bez zaťaženia hlasových kanálov, pričom prispieva aj k vyššej bezpečnosti a lepšiemu organizačnému toku dát v riadení letov. [13], [14]

3.1.2. ACARS - - Aircraft Communications Addressing and Reporting System

ACARS (Aircraft Communications Addressing and Reporting System) je systém založený na Datalinku, ktorý zabezpečuje prenos širokej škály správ medzi lietadlom a pozemnými stanicami. Tento systém pôvodne využíval len VHF spojenie, no v súčasnosti podporuje aj HF a SATCOM siete, čo umožňuje globálne pokrytie. ACARS slúži na zasielanie technických správ o stave lietadla, letových plánov, meteorologických informácií a ďalších údajov potrebných pre riadenie letu a údržbu lietadla. [15], [16]

3.1.3. CPDLC – Controller–Pilot Data Link Communication

Controller–Pilot Data Link Communication (CPDLC) predstavuje významný pokrok v oblasti riadenia letovej prevádzky. Tento systém umožňuje riadiacim letovej prevádzky a posádkam lietadiel vymieňať si neurgentné strategické správy prostredníctvom štandardizovaných dátových protokolov. CPDLC prispieva k zníženiu zaťaženia hlasových frekvencií, znižuje riziko nesprávneho pochopenia pokynov a umožňuje efektívnejšie riadenie letov, najmä v preťažených vzdušných priestoroch. [15], [17]

Tabuľka 1 Výsledok prehľadu systému CPDLC

Výhody systému CPDLC	Nevýhody/Výzvy systému CPDLC
Zníženie zaťaženia hlasových frekvencií	Zvýšený čas pozornosti na displeje
Zvýšenie kapacity vzdušného priestoru	Odlišný spôsob doručovania správ
Možnosti paralelne vybaviť viacero požiadaviek	Zmeny v postupoch SOP
Zníženia rizika nesprávnej interpretácie správ	Potreba dodatočného výcviku posádok

Zdroj: spracované autorom podľa [18], [19]

3.1.4. SATCOM

Satelitná komunikácia (SATCOM) predstavuje kľúčový prvok zabezpečenia spojenia v oblastiach mimo dosahu tradičných VHF a HF sietí, ako sú oceánske alebo odľahlé oblasti. SATCOM poskytuje nielen možnosť dátovej a hlasovej komunikácie, ale aj služby pre pasažierov, ako je širokopásmové internetové pripojenie počas letu. Systémy SATCOM sú zároveň neoddeliteľnou súčasťou budúcej architektúry leteckej komunikácie, známej ako Future Communications Infrastructure (FCI). Palubné vybavenie na podporu SATCOM komunikácie spravidla pozostáva z viacerých prepojených jednotiek a zabezpečuje nielen dátovú, ale aj hlasovú komunikáciu. V prípade využívania hlasových služieb cez SATCOM je nevyhnutné, aby sa dodržiavali štandardné rádiové postupy, ako cez VHF pásmo, vrátane správnej frazeológie a štandardov. [20] [21]

3.2. Navigačné systémy

Presná a samostatná navigácia je nevyhnutným predpokladom bezpečnej a efektívnej prevádzky lietadiel. Moderné riešenia v tejto oblasti sa sústreďujú na minimalizáciu závislosti od pozemných navigačných zariadení a na maximalizáciu samostatnosti lietadiel pri určovaní svojej polohy.

3.2.1. Inerciálny navigačný systém a Inerciálny referenčný system

Inerciálne navigačné systémy (INS) a ich modernejšia verzia Inerciálne referenčné systémy (IRS) využívajú gyroskopy a akcelerometre na meranie zrýchlení a rotácií lietadla voči trom osiam. Staršie INS systémy boli založené na stabilizovaných platformách, zatiaľ čo moderné IRS systémy sú pevne pripevnené ku konštrukcii lietadla ("strapdown" systém), čím sa zvyšuje ich spoľahlivosť. Inerciálne systémy sú schopné poskytovať presné informácie o polohe, rýchlosti a smere letu bez potreby vonkajších navigačných signálov. [22]

3.2.2. Flight Management System

Flight Management System (FMS) predstavuje integrovaný systém, ktorý údaje zo systémov IRS, GPS, VOR/DME a ďalších navigačných zdrojov s cieľom automatizovať navigáciu, výpočty trasy, optimalizovať spotrebu paliva a poskytnúť výstupy pre celkové riadenie letu. FMS umožňuje efektívne plánovanie a vykonávanie letu, pričom zabezpečuje vysokú mieru presnosti a prevádzkovej flexibility. [22]

3.3. Prehľadové systémy

Monitorovanie polohy lietadiel v reálnom čase je základným predpokladom bezpečného a efektívneho riadenia vzdušného priestoru. S rozvojom technológií dochádza k postupnému rozširovaniu možností monitorovania letovej prevádzky aj mimo pokrytia tradičnými radarovými systémami.

3.3.1. ADS-B

Automatic Dependent Surveillance–Broadcast (ADS-B) je systém, v ktorom lietadlá samostatne vysielajú svoju polohu získanú pomocou GPS. Informácie o identifikácii, polohe, výške a rýchlosti sú vysielané automaticky. ADS-B prispieva k zvyšovaniu bezpečnosti, umožňuje efektívnejšie riadenie vzdušného priestoru a znižuje náklady na infraštruktúru. Vysielanie ADS-B môže obsahovať mnohé údaje od polohy letu, rýchlosťou nad zemou až po rôzne nadstavenia systémov. [23]

3.3.2. Multilaterácia

Multilaterácia je metóda určovania polohy lietadiel na základe merania časového rozdielu príletu signálov odpovedačov na viaceré pozemné stanice. Táto technológia umožňuje zabezpečiť prehľad aj v oblastiach, kde nie je dostupné pokrytie sekundárnym radarom. Výhodou multilaterácie je jej flexibilita, nízke náklady na infraštruktúru a možnosť integrácie so systémami ADS-B. Multilaterácia a ADS-B predstavujú komplex technológií, ktoré umožňujú zabezpečiť komplexný prehľad o pohybe lietadiel v rôznych typoch vzdušného priestoru. Sieť multilaterácie sú schopné prijímať aj signály ADS-B, čím sa stávajú efektívnym riešením nielen pre monitorovanie letovej prevádzky, ale aj ako záložné systémy v prostredí budúceho letectva založeného na ADS-B. [23], [24]

4. Návrh na dovybavenie lietadlovej techniky Žilinskej univerzity v Žiline

Súčasný vývoj v oblasti letectva ukazuje, že integrácia moderných komunikačných, navigačných a prehľadových systémov je kľúčová nielen pre zvýšenie bezpečnosti letovej prevádzky, ale aj pre efektívnosť výcviku budúcich pilotov a odborníkov v oblasti letectva. S cieľom zvýšiť úroveň praktického výcviku a pripravenosti študentov Žilinskej univerzity na moderné letecké prostredie, je vhodné uvažovať o dovybavení existujúcej lietadlovej techniky vybranými technológiami, ktoré zodpovedajú aktuálnym trendom a požiadavkám v oblasti všeobecného letectva. Toto dovybavenie by mohlo študentom Žilinskej univerzity pomôcť nadobudnúť ďalšie znalosti pre svoju kariéru dopravných pilotov. Táto kapitola má zabezpečiť čitateľovi hlavne pohľad na špecifickú implementáciu moderných prístrojov určených na navigáciu a komunikáciu.

V súčasnosti prebieha vo všeobecnom letectve technologická revolúcia, ktorej hlavným znakom je prechod od klasických analógových prístrojov k digitálnym prístrojom – glass cockpitom. Tento trend je čoraz výraznejší aj v oblasti výcviku a dotýka sa nielen nových typov lietadiel, ale aj starších, ktoré je možné dovybaviť modernou avionikou. Niektoré lietadlá vo vlastníctve Žilinskej univerzity sú vybavené glass cockpitom, avšak radi by sme sa zamerali na špecifické dovybavenie lietadiel Piper PA28 a Piper PA34, ktoré sú aktuálne využívané na výcvik letu pomocou prístrojov. Vo svojom návrhu chceme priblížiť fungovanie integrovaného systému od spoločnosti Garmin G1000, ktorý spája mnohé navigačné a komunikačné systémy spomínané v práci. Systémom Garmin G1000 je zatiaľ vybavené iba jedno lietadlo Žilinskej univerzity, a to Diamond DA42.

Najväčšou výhodou systému G1000 v porovnaní s konkurenčnými produktmi je to, že umožňuje „lietať, navigovať a komunikovať“ z jedného 10-palcového displeja. Napríklad pri iných systémoch vieme definovať nevýhodu tak, že piloti musia pozerať na viaceré miesta a údaje musia zadávať z viacerých prístrojov, či už navigačné, komunikačné alebo iné údaje. Garmin G1000 má možnosť dovybavenia alfanumerickou klávesnicou, podobnou ako CDU, ktorá sa využíva v komerčnej leteckej doprave pri systéme FMS. Táto klávesnica môže pomôcť simulovať podmienky nahrávania údajov do FMS [25].

Z pohľadu ľudského faktora je G1000 výnimočný v tom, že integruje všetky relevantné informácie do jedného displeja a má všetky príslušné ovládače hneď vedľa displeja. Pilot môže systém G1000 ovládať a monitorovať pomocou PFD. Napríklad pilot môže upraviť letový plán, sledovať svoju polohu na mape, monitorovať blízke lietadlá, nastaviť všetky rádiové a navigačné zariadenia, zobraziť informácie o najbližších letiskách a monitorovať letové aj navigačné prístroje, všetko z jedného displeja [25].

Systém G1000 má v sebe integrované aj ďalšie dôležité moderné systémy ako Garmin Data Link alebo ADS-B. Tieto systémy sú v rôznom rozsahu bežne používané v komerčnej leteckej doprave, a preto sme ich spomenuli aj v tejto kapitole, lebo záverečná práca v predchádzajúcich častiach priamo vysvetľuje princíp fungovania týchto systémov.

Garmin Data Link je voliteľný systém, ktorý je možné integrovať do G1000. Po inštalácii poskytuje údaje o počasí prostredníctvom predplatenej služby XM Satellite Radio. Garmin Data Link poskytuje možnosť zobraziť aktuálne textové METAR-y a predpovede TAF pre ľubovoľné letisko, ktoré je podporované. Počasie vieme zobrazovať aj graficky, napríklad radarové a satelitné snímky, ktoré je možné zobraziť vzhľadom na polohu lietadla. [25]

Pre zvýšenie bezpečnosti letu je systém vybavený funkciou ADS-B, ktorá zabezpečuje zobrazovanie okolitých lietadiel a aj vozidiel na pohyblivej mape. Technológia TargetTrend, ktorú má spoločnosť Garmin patentovanú, pomáha odhadnúť trajektóriu a rýchlosť približovania iných cieľov. Doplnkovo je možné integrovať aj systémy TCAS I/II pre aktívne sledovanie leteckej prevádzky. [26] ADS-B v lietadle pomáha identifikovať pozíciu lietadla, rýchlosť, výšku, predbežnú trasu a iné dôležité informácie pre riadiacich letovej prevádzky ako aj pre posádku lietadla.

Implementácia systému Garmin G1000 by predstavovala modernizáciu výcvikového prostredia, zvýšenie úrovne bezpečnosti a efektivity. Tento návrh reflektuje globálne trendy digitalizácie a automatizácie. Je však potrebné zohľadniť aj praktické výzvy spojené s integráciou systému, najmä ekonomickú náročnosť, technickú kompatibilitu existujúcej techniky a prípadné legislatívne obmedzenia. Preto je vhodné v budúcnosti spracovať aj hlbšiu technickú a ekonomickú analýzu pre reálnu implementáciu návrhu.

5. Záver

Práca sa venovala problematike využitia nových technológií v oblasti všeobecného letectva, s cieľom spracovať prehľadný a prakticky orientovaný študijný materiál, ktorý by slúžil ako doplnok k výučbe predmetu Letecká navigácia 2 na Žilinskej univerzite v Žiline. Spracovaný text poskytuje komplexný pohľad na aktuálne trendy v oblasti dátových komunikačných systémov, navigačných technológií a prehľadových systémov, pričom zdôrazňuje ich rastúce uplatnenie aj mimo tradičného komerčného letectva.

Práca bola rozdelená do troch hlavných častí: prvá časť ponúkla prehľad historického vývoja a legislatívneho rámca, druhá spracovala detailný opis moderných systémov ako Datalink, ACARS, CPDLC, SATCOM, INS, IRS, FMS, ADS-B a multilaterácia, a tretia časť bola zameraná na návrh možného dovybavenia lietadiel Žilinskej univerzity modernými technológiami na podporu výcviku podľa IFR štandardov.

Z pohľadu cieľa možno konštatovať, že práca naplnila svoj zámer a vytvorila podklad, ktorý je vhodný na doplnenie existujúcich študijných materiálov. Súčasne sa ukázalo, že problematika modernizácie výcvikovej techniky si vyžaduje ďalšiu podrobnú analýzu, predovšetkým v oblastiach legislatívnych požiadaviek, technickej realizovateľnosti a ekonomickej náročnosti implementácie vybranej technológií. Tieto otázky presahujú rámec tejto práce a predstavujú vhodnú tému na samostatné projekty alebo hlbšie štúdie. Výsledné spracovanie tak predstavuje príspevok hlavne z didaktického hľadiska.

Referencie

[1] JANÍČEK, TOMÁŠ Radiokomunikace : řízené lety : tréninkový manuál pro kandidáty GLD, PPL, CPL, v rozsahu znalostí nutných pro získání průkazu OFC a VF. . 1. vyd. [s.l.]: Cheb : Svět křídel, 2012 145 s. ISBN 978-80-87567-05-0.

[2] ZÁVODSKÝ, KAREL A KOLEKTÍV Historie řízení letového provozu. . 1. vyd. [s.l.]: YOUR ARTILLERY 157 s. ISBN 978-80-905939-0-0.

[3] RADIO NAVIGATION TIMELINE. In: Royal Institute of Navigation [online]. [cit. 2025-02-17]. Dostupné na: https://rin.org.uk/mpage/radio_navigation_timeline

[4] BOWLING, Joren. History of Radionavigation [online]. [cit. 2025-02-17]. Dostupné na: http://ffden-2.phys.uaf.edu/webproj/211_fall_2020/Joren_Bowling/joren_bowling/history-of-radionavigation.html

[5] HERNÁNDEZ-PAJARES, M., JUAN, M., SANZ, J., SALAZAR, D. a RAMOS, P. Brief History of Radionavigation[online]. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, IonSAT. [cit. 2025-03-17]. Dostupné na: http://chapman.upc.es/lectures/legad/docs/LeGAD-02-Brief_history_of_Radionavigation.pdf

[6] WILLIAMS, Ralph R. Navigation: From Dead Reckoning to Navstar GPS [online]. Air & Space Forces Magazine, December 1, 1984 [cit. 2025-02-17]. Dostupné na: https://www.airandspaceforces.com/article/1284navigation/

[7] NOVÁK, Andrej., NOVÁK SEDLÁČKOVÁ, Alena. Medzinárodnoprávna úprava civilného letectva. 1. vyd. V Žiline: Žilinská univerzita, 2010. 125 s. : Vysokoškolské učebnice. ISBN 978-80-554-0300-7.

[8] NOVÁK SEDLÁČKOVÁ, Alena ., TOPOLČÁNY, Roman., KANDERA, Branislav., Letecký zákon a postupy ATC. 1. vyd. Bratislava: DOLIS, 2015. 302 s. ISBN 978-80-8181-018-3.

[9] Air law : ATPL(A) and ATPL(H). 7th ed. Clevedon, UK: Bristol Groundschool International Limited, 2019. rôzne stránkované kapitoly. ISBN 978-1-912679-00-3.

[10] Pravidlá v oblasti civilného letectva a Agentúra Európskej únie pre bezpečnosť letectva. In: EUR-Lex [online]. [cit. 2025-02-20]. Dostupné na: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?uri=LEGISSUM%3A4359400

[11] Civilné letectvo – Dopravný úrad. In: NSAT – Národný systém aktívnej tvorby [online]. [cit. 2025-02-20]. Dostupné na: https://letectvo.nsat.sk

[12] Letecká informačná príručka Slovenskej republiky (eAIP SR). In: Letové prevádzkové služby Slovenskej republiky, štátny podnik [online]. 17. apríla 2025 [cit. 2025-02-21]. Dostupné na: https://aim.lps.sk/eAIP/eAIP_SR/AIP_SR_EFF_17APR2025_amdt/html/LZ-frameset-sk-SK.html

[13] Datalink. In: EUROCONTROL [online]. [cit. 2025-02-25]. Dostupné na: https://www.eurocontrol.int/function/datalink

[14] Federal Aviation Administration. Advisory Circular AC 90-117: Data Link Communications [online]. Washington, D.C.: FAA, 3. októbra 2017 [cit. 2025-02-25]. Dostupné na: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_90-117.pdf

[15] NOVÁK, Andrej a KOVÁČIKOVÁ, Kristína. Advancements in VDL and CPDLC: Revolutionizing European Aviation Communication [online]. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2023 [cit. 2025-03-05]. Dostupné na: https://drepo.uniza.sk/server/api/core/bitstreams/9893d471-5872-44ac-bedc-c0167bdaca0d/content

[16] SMITH, Matthew, MOSER, Daniel, STROHMEIER, Martin, LENDERS, Vincent a MARTINOVIC, Ivan.Undermining Privacy in the Aircraft Communications Addressing and Reporting System (ACARS) [online]. In: Proceedings on Privacy Enhancing Technologies, 2018, č. 3, s. 105–122. ISSN 2299-0984. [cit. 2025-03-05]. Dostupné na: https://doi.org/10.1515/popets-2018-0023

[17] SKYbrary. Controller Pilot Data Link Communications (CPDLC) [online]. SKYbrary Aviation Safety, [cit. 2025-03-18]. Dostupné na: https://skybrary.aero/articles/controller-pilot-data-link-communications-cpdlc

[18] ŽVINYS, Julius a RUDINSKAS, Darius. Investigation of the application of CPDLC to aerodrome air traffic control procedures [online]. Aviation, 2023, roč. 27, č. 2, s. 95–103. ISSN 1648-7788. [cit. 2025-03-18]. Dostupné na: https://journals.vilniustech.lt/index.php/Aviation/article/view/19113/11774

[19] HONEYWELL INTERNATIONAL INC. Discover the Benefits of Controller Pilot Data Link Communications (CPDLC) [online]. Phoenix: Honeywell Aerospace, 2021. [cit. 2025-03-22]. Dostupné na: https://aerospace.honeywell.com/content/dam/aerobt/en/documents/learn/products/navigation-and-radios/brochures/N61-3068-000-000_CPDLC-bro.pdf

[20] EUROCONTROL. SATCOM [online]. SKYbrary Aviation Safety, [cit. 2025-04-04]. Dostupné na: https://skybrary.aero/articles/satcom

[21] EUROCONTROL. Satellite communications datalink [online]. EUROCONTROL, [cit. 2025-04-04]. Dostupné na: https://www.eurocontrol.int/system/satellite-communications-datalink

[22] Instrumentation : ATPL(A). 7th ed. Clevedon, UK: Bristol Groundschool International Limited, 2019. rôzne stránkované kapitoly) : EASA ATPL (A) Theory Training. ISBN 978-1-912679-08-9.

[23] MULTILATERATION.INFO. Multilateration [online]. [cit. 2025-01-24]. Dostupné na: https://www.multilateration.info/surveillance/multilateration.html

[24] AIR NAVIGATION SERVICES OF THE CZECH REPUBLIC. MULTILATERATION & ADS-B. . 48 s. ISBN nebolo priradené ku knihe.

[25] TRESCOTT, Max. Max Trescott's G1000 glass cockpit handbook. 4th ed. Mountain View, CA: Glass Cockpit Publishing, 2009. iv, 305 s. ISBN 978-0-9777030-7-4.

[26] GARMIN INTERNATIONAL INC. G1000 NXi Integrated Flight Deck [online]. Garmin, [cit. 2025-04-14]. Dostupné na: https://www.garmin.com/en-US/p/588901/pn/NXi-G1000-00