

IMPROVING ACCES TO AIRCRAFT METEOROLOGICAL DATA RELAY AMDAR

ZLEPŠENIE PRÍSTUPU K ÚDAJOM LIETADLOVÉHO METEOROLOGICKÉHO DÁTOVÉHO PRENOSU AMDAR

Michal Bušovský
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
busovsky@stud.uniza.sk

Miriam Jarošová
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
jarosova@fpedas.uniza.sk

Abstract

Paper deals with the use of aircraft sensors to obtain meteorological parameters required for predictive weather models, using parameters in ATM and meteorological research. It focuses on the current state of the problem of data acquisition, using the AMDAR system. Comparative use of data from other data sources such as Mode S EHS and Mode S MRAR. By building the necessary infrastructure or equipping of commercial aircraft. Within the paper is developed a methodology, which deals with obtaining data from LPS SR š.p., necessary for the comparison of different systems. The impact of the AMDAR system on aircraft instruments and on the safety of air traffic. Based on the analyzed facts, examples of the use of the system are pointed out, but also of the problems associated with this system.

Keywords

AMDAR, ACARS, SESAR

1. Úvod

Moderné komerčné lietadlá sú vybavené meteorologickými senzormi, ktoré sú spojené so sofistikovanými systémami pre získavanie a spracovanie údajov. Poskytujú vstupné údaje v reálnom čase pre systémy na riadenie letu, navigačné systémy v lietadle a iné palubné systémy. Údaje sa tiež zaznamenávajú do zapisovač letových údajov pre off-line analýzu a špeciálne spracovanie (napr. pri vyšetřovaní nehôd).

Počítače lietadla môžu byť naprogramované tak, aby vykonávali meteorologické pozorovania vo vopred určených časoch a poskytovali automatické vysielanie na zem. Toto sa obvykle vykonáva prostredníctvom komunikačného, adresného a hlasného systému lietadla (ACARS), ktorý pracuje pri veľmi vysokej frekvencii (VHF) alebo prostredníctvom satelitného rádiového spojenia. Pozemné spracovanie a šírenie údajov sa dosahuje prostredníctvom systémov poskytovaných príslušným leteckým dopravcom, poskytovateľom letových prevádzkových a leteckých informačných služieb a taktiež centier na spracovanie meteorologických správ.

Globálny program pre rozvoj lietadlového meteorologického dátového prenosu (AMDAR) iniciovalo WMO a jeho členovia v spolupráci s leteckými partnermi. Viedlo to k vývoju pozorovacieho systému AMDAR. Pozorovací systém AMDAR je podsystem integrovaného globálneho pozorovacieho systému WMO a globálneho pozorovacieho systému, ktorý je definovaný a udržiavaný v rámci programu WMO World Weather Watch Program.

Cieľom tejto diplomovej práce je zlepšiť prístup k získaniu meteorologických parametrov lietadiel, ktoré už boli získané

v skorších výskumoch pomocou údajov z módu S EHS a MRAR na konštrukciu meteorologických modelov, ako aj na pomoc výsledných TAS lietadiel. Výsledkom bude podať komplexný pohľad na problematiku implementácie systému AMDAR a jeho využitia na základe dát získaných priamo z dátového prenosu údajov. Technicky vylepšená a efektívnejšie koordinovaná správa a zabezpečenie údajov povedie k zlepšeniu prístupu k údajom AMDAR vrátane údajov o leteckých spoločnostiach a o používateľoch údajov tretích strán, čo znamená väčší pozitívny vplyv na aplikácie meteorologických predpovedí a lepšiu predpoveď produktov a služieb. Týmto nakoniec prispejeme k efektívnejšej a bezpečnejšej letovej prevádzke.

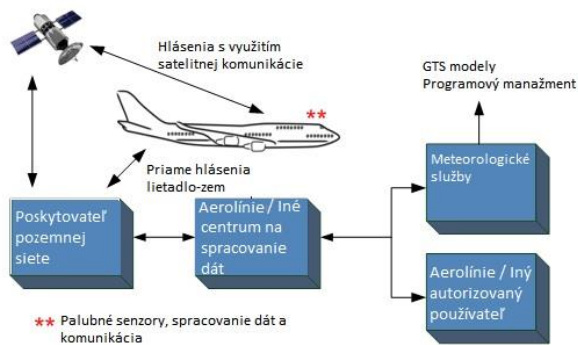
2. Súčasný stav riešenej problematiky

AMDAR je lietadlový systém založený na zbere, zhromažďovaní a prenose meteorologických dát, ktorý využíva údaje zhromaždené a prenášané z lietadla za letu. Tieto dáta slúžia na doplnenie údajov zhromaždených inými meteorologickými prístrojmi, čo v konečnom dôsledku vedie k zlepšeniu presnosti meteorologických predpovedí. AMDAR zhromažďuje a distribuuje nasledujúce meteorologické údaje:

- Vertikálne profily teploty vzduchu
- Rýchlosť a smer vetra na letiskách
- Pravidelné správy o meteorologických podmienkach z lietadiel za letu
- Presné merania súradníc (čas, zemepisná šírka, dĺžka a nadmorská výška)
- Merania intenzity turbulencie a námrazy

- Údaje o vlhkosti vzduchu (iba z niektorých, vhodne vybavených lietadiel)

Systém AMDAR využíva predovšetkým palubné snímače lietadiel, počítače a komunikačné systémy na zber, spracovanie, formátovanie a prenos meteorologických údajov pre pozemné stanice prostredníctvom satelitných alebo rádiových spojení. Keď sú dáta na zemi, prenášajú sa do národných meteorologických a hydrologických ústavov, kde sa spracúvajú, kontroluje sa ich kvalita a následne sa prenášajú sa v informačnom systéme WMO. [1]

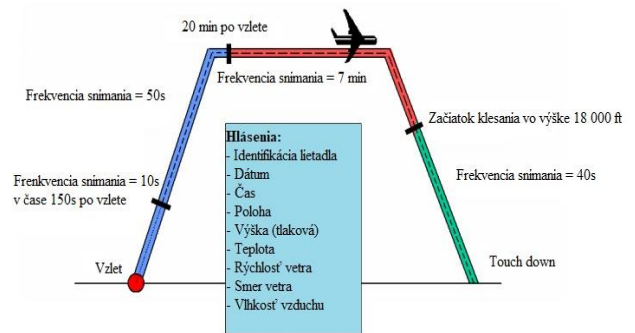


Obrázok 1: Popis základných častí systému AMDAR Zdroj: <https://community.wmo.int/activity-areas/aircraft-based-observations/amdar/amdardescription>

Pozorovací systém AMDAR produkuje viac ako 700 000 vysoko kvalitných pozorovaní teploty vzduchu, rýchlosti a smeru vetra, vlhkosti vzduchu, turbulencií a spolu s požadovanými polohovými a časovými informáciami sa čoraz viac zvyšuje počet meraní a kvalita zberu dát. Zhromaždené údaje sa používajú na rôzne meteorologické aplikácie vrátane verejnej predpovede počasia, monitorovania podnebia, systémov včasného varovania pred nebezpečnými meteorologickými javmi počasia a čo je dôležité, na podporu monitorovania a poskytovania predpovede počasia pre letecký priemysel. [1]

Lietadlový meteorologický dátový prenos AMDAR sa skladá z funkčných pozorovacích systémov AMDAR udržiavaných s národnými a regionálnymi programami AMDAR v spolupráci s ich partnerskými leteckými spoločnosťami. WMO a medzinárodná asociácia leteckých dopravcov (IATA) majú pracovnú dohodu o fungovaní programu AMDAR a očakáva sa, že v blízkej budúcnosti zahájajú iniciatívu na spoluprácu zameranú na rozšírenie programu AMDAR na podporu leteckej a meteorologickej komunity. [6] [7]

Globálny systém AMDAR Svetovej meteorologickej organizácie WMO sa skladá z národných a regionálnych operačných programov AMDAR, do ktorých sú zapojené členské štáty WMO.



Obrázok 2: Priestorové a časové rozdelenie meteorologických správ Zdroj na základe: [https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo-td_1462_en/2\(17\)_Hoff_Germany.pdf](https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo-td_1462_en/2(17)_Hoff_Germany.pdf)

WMO stále vo veľkej miere nalieha na členov, aby pokračovali vo vývoji a rozširovaní pozorovacieho systému AMDAR v súlade s akčným plánom Komisie pre základné systémy, Commission for Basic Systems (CBS). Národné a regionálne programy AMDAR sú zodpovedné za prevádzkovú implementáciu a údržbu svojich príslušných systémov AMDAR v spolupráci s partnerskými leteckými spoločnosťami. Medzi základné medzinárodné a regionálne programy na patria: [2]

- Spolupráca WMO-IATA na rozvoji programu AMDAR (WICAP)
- Globálny, integrovaný pozorovací systém WMO (WIGOS)
- In-service Aircraft for a Global Observing System IAGOS
- Systém prijímania údajov o meteorologickej asimilácii (MADIS)

3. Metodika a metodológia

Údaje, ktoré sme analyzovali v tejto práci boli poskytnuté LPS SR. Vzorka dát pozostávala z vybraných meraní za mesiac február 2018 zo 4 rôznych TAR. Keďže dostupnosť údajov nie je rovnaká pre každú krajinu, bolo potrebné osloviť partnerov zo susedných krajín, a to konkrétne z Českej republiky a Rakúska. Na Slovensku sú TAR nastavené tak, aby boli schopné dopytovať správy Mode-S EHS. V Českej republike je možné TAR využiť aj pre dátové typy Mode-S EHS a MRAR, to znamená, že radary sú schopné dopytovať správy na dvoch rôznych prenosových frekvenciách. Možnosť zhromaždiť MRAR správy si vyžaduje špeciálny odpovedač na palube letúna, ktorý avšak nie je možné nainštalovať na každom type letúna, a taktiež nie každý vzdušný priestor je pokrytý týmito radarmi. Z tohto dôvodu sú správy MRAR menej časté ako správy EHS. Napríklad z TAR Vienna sa získali iba údaje MRAR. Tento radar je prispôbený na príjem informácií z registrov BDS 4.4, 5.0 a 6.0, ale registre 5.0 a 6.0 z TAR Vienna neobsahujú všetky informácie potrebné na odvodenie meteorologických parametrov.

Na Slovensku sú na zhromaždenie údajov využívané TAR Javor a Mosnik. Uvedené radary sú spoločnosťou LPS SR š.p. využívané pre účely získavania polôh lietadiel a iných potrebných informácií v súvislosti s riadením letovej prevádzky. Múd S radary sú schopné získavať z lietadiel údaje z jednotlivých BDS registrov - aj dáta registra BDS 4,4, ktoré obsahujú meteorologické dáta. Tieto dáta nie sú nutne potrebné pre účely riadenia letovej prevádzky, a tak sa radary sa na ne bežne

nedotazujú, čo je i prípad uvedených dvoch radarov. Navyše, nie každé lietadlo je schopné poskytnúť dáta registra BDS 4,4 a doposiaľ ani nebola vydaná požiadavka na získavanie takýchto dát od LPS SR.

V spolupráci s LPS SR š.p. sme sa dohodli na poskytnutí dát z textového súboru vo formáte csv, ktoré v tejto práci využijem pre dátovú analýzu. Dáta, ktoré LPS SR získavajú vo formáte ASTERIX CAT. 048, by som nebol schopný dekódovať, bola mi preto z ich strany poskytnutá súčinnosť formou prípravy dát do požadovaného formátu csv. V rámci tohto procesu bolo vykonané i určité spracovanie - prepočet zo súradnicového systému radaru (RHO/THETA) do systému WGS84 (LAT/LONG), konverzia jednotiek jednotlivých veličín s následným odvodením meteorologických veličín z EHS dát registrov BDS 5,0 a BDS 6,0. Keďže dátami parametrov registra BDS 4,4 LPS SR nedisponujú, bolo nutné požiadať partnerov z okolitých krajín (Rakúska a Českej republiky) o povolenie ich poskytnutia pre účely tejto štúdie.

Tabuľka 1: Percentuálne zastúpenie meteorologických parametrov z celkového počtu pozorovaní Zdroj: Autori.

	Počet pozorovaní	Percentuálne zastúpenie bezchybných pozorovaní z celkového počtu pozorovaní
Všetky pozorovania	2 149 816	100%
Teplota vzduchu v aktuálnej výške a polohe	2 111 656	98,2%
Aktuálny tlak redukovaný na hladinu mora	89 112	4,14%
Rýchlosť a smer vetra	2 080 944	96,7%
Turbulencia	0	0%
Vlhkosť vzduchu	0	0%

4. Analýza a praktické využitie dát

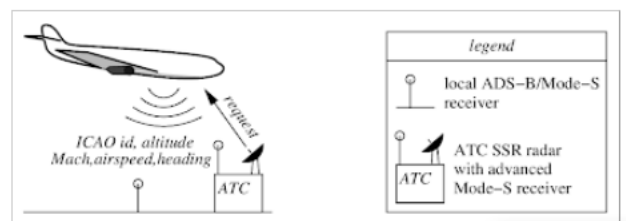
V tejto časti odprezentujem výsledky analyzovaných dát Módu S EHS a MRAR vzhľadom na možnosť využitia aj iných zdrojov dát než len Mód S, a to konkrétne AMDAR. Pozorované sú hodnoty teploty, rýchlosti vetra a smeru vetra (vypočítané aj z iných pozorovaných veličín). V prípade údajov EHS sú podrobnosti v časti, kde bola prevedená štúdia dát z výskumov De Hahn, Strajnar, kde boli porovnané polia prvého modelu. Následne sa získané rozdiely štatisticky analyzovali. Výsledky sú uvedené pre údaje AMDAR, EHS a MRAR v spoločnej tabuľke v tomto poradí. Štatistické nástroje využívané v tejto časti vyvinul B. Strajnar v rámci programu RC LACE. Tieto nástroje spolu s know-how o štatistickej analýze údajov v Móde S sú známe pre každé pozorovanie. Údaje obsahujú polohu (zemepisnú šírku, zemepisnú dĺžku, tlakovú nadmorskú výšku).

Primárnou funkciou radarov je lokalizácia lietadla. Nadmorská výška hlásená radaru sa meria tlakovým snímačom a je dobrým indikátorom statického tlaku vzduchu. Vypočítava sa z

nameraného statického tlaku vzduchu pomocou štandardného modelu atmosféry Medzinárodnej organizácie pre civilné letectvo. Presná poloha a nadmorská výška sú dôležité informácie požadované predovšetkým pre riadenie letovej prevádzky a v našom prípade pre meteorologické údaje. Na každom otočení radaru sú lietadlá umiestnené a dotazované kvôli obsahujúcim údajom. V ideálnych podmienkach získavame nové údaje o každom otočení radaru. Radar získava údaje zo všetkých lietadiel, ktoré sú schopné reagovať. Nie je však zavedený žiadny mechanizmus, ktorý by leteckým spoločnostiam oznamoval kalibráciu ich senzorov. Letecké spoločnosti si často ani neuvedomujú, že ich lietadlá odosielať meteorologické údaje cez radary Módu S do stredísk riadenia letov.

Jediným spôsobom, ako sa zbaviť chybných údajov je identifikovať ich a vylúčiť. Množstvo údajov získaných pomocou radarov Módu S je v porovnaní s rádio-sondami, alebo dokonca AMDAR také veľké, že chybné hodnoty možno pomerne ľahko identifikovať, ak predstavujú menšinu všetkých dostupných údajov.

S využitím módu S (selektívny mód) môže SSR zisťovať letové parametre vďaka downlink komunikácií (DAP) z jednotlivých lietadiel. Tieto DAP parametre obsahujú napríklad údaje o stave lietadla a zámeroch, ktoré sa dajú očakávať a spoločne ich označujeme Mode S Enhanced Surveillance (EHS). Tento režim Módu S EHS obsahuje napríklad uvedenú zvolenú nadmorskú výšku, rýchlosť letu, rýchlosť klonenia alebo traťový uhol. Prostredníctvom Módu S je taktiež možné získať priame informácie o počasí, namerané na palube lietadla prostredníctvom meteorologického rutinného leteckého hlásenia (MRAR). Signály ADS-B a Mode S vysielané lietadlom môže prijímať každý v priamej viditeľnosti pomocou hardvérových prijímačov s nízkou cenou, a preto ich možno považovať za „otvorené údaje“. Populárne online sledovače letov FlightRadar24 používajú tieto signály na zobrazenie polohy a informácií o lietadle v reálnom čase. Pre plánovanie trajektórie letu, meteorologických podmienok (teplota a vietor), výkonov lietadla (hmotnosť a ťah, aerodynamika) sú dôležité premenné získané z palubných snímačov. [3]



Obrázok 3: Operatívny zber dát prostredníctvom Módu S Zdroj: <https://sites.google.com/a/wmo.int/amdar-news-and-events/newsletters/volume-13-april-2017-compilem/emaddctowardsoperationalcollectionofmode-sehsobservationsineurope>

Dotazovanie vyhradeného registra meteorologických údajov MRAR na druhej strane ponúka ekvivalentné meteorologické informácie podobné tým, ktoré sa prenášajú prostredníctvom AMDAR. Hrastovec a Solina podrobnejšie popisujú technické aspekty Módu S MRAR a zavádzajú metódu na výpočet vertikálnych profilov teploty a vetra v blízkosti ľubľanského letiska v reálnom čase. Pretože v súčasnosti neexistuje žiadny štandard, ktorý by zavádzal výrobcov odpovedačov k vyplneniu

registra MRAR údajmi, dostupnosť MRAR Módu S závisí od typu odpovedača, ktorým je lietadlo vybavené. Napríklad v slovinskom vzdušnom priestore reagovalo pomocou MRAR iba asi 5% všetkých lietadiel. Toto percento sa zvyšuje v nižších vrstvách troposféry, kde bola väčšina údajov k dispozícii z flotily bývalého slovinského národného leteckého dopravcu Adria Airways. Strajnar ukázal, že celková kvalita priamych údajov Módu S, označovaných ako Mód S MRAR, je veľmi podobná kvalite AMDAR, a preto je veľmi sľubná pre asimiláciu údajov. Táto práca pojednáva o prvých výsledkoch kvázi-prevádzkovej aplikácie nových údajov vďaka analýze dát určených pre NWP v rámci meteorologickej služby. [3]

Tabuľka 2: Vybrané TAR s celkovým počtom spracovaných dát. Zdroj: Autori.

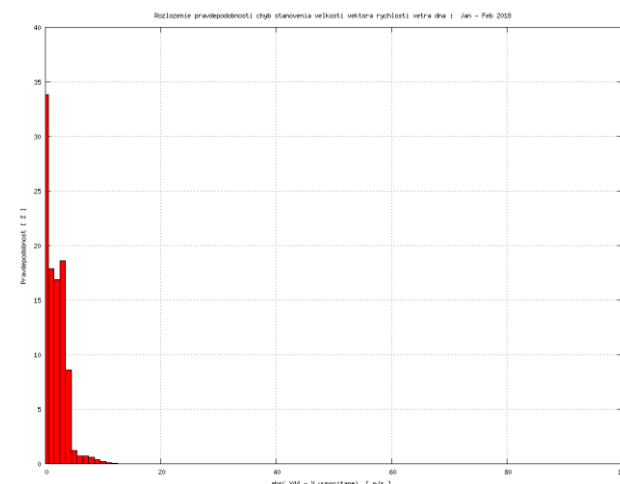
Radar	Zemepisn á šírka	Zemepisn á dĺžka	Typ spracovanýc h dát	Počet spracovanýc h dát
JAVOR	48°15 s.z.š.	17°09 v.z.d.	Mód S EHS	737 496
MOSNI K	48°47 s.z.š.	21°32 v.z.d.	Mód S EHS	329 016
BUKOP	49°40 s.z.š.	16°08 v.z.d.	Mód S EHS MRAR	1 057 800
VIENNA	48°07 s.z.š.	16°34 v.z.d.	Mód S MRAR	25 504

Zhrnutím jednotlivých meteorologických parametrov je odporúčanie zlepšiť poskytovanie metadát lietadiel; rozšíriť pozorovania vlhkosti vzduchu a turbulencie prostredníctvom senzorov lietadla; sprístupniť viac údajov AMDAR na vyplnenie globálnych medzier; a dohodnúť sa na najlepšom spôsobe distribúcie údajov nie len módu S, ale aj AMDAR medzi leteckými spoločnosťami a meteorologickými službami spravujúcimi tieto dáta.

Cieľom analýzy spracovaných dát je, aby zahŕňali informovanie používateľov údajov o pozorovacích charakteristikách ABO, informovanie poskytovateľov ABO o podrobných požiadavkách používateľov a vydávanie odporúčaní týkajúcich sa poskytovania alebo používania údajov o lietadlách. Významnou metódou zisťovania turbulencie je odvodenie vertikálnych poryvov, ktoré sú definované ako okamžitá vertikálna rýchlosť nárazu, ktorá by ako navrstvená vrstva vzduchu na ustálený horizontálny vietor spôsobila náhle zrýchlenie lietadla. Vplyv poryvu na lietadlo závisí od hmotnosti lietadla a od ďalších charakteristík lietadla. Tie je možné zohľadniť tak, aby mohla byť rýchlosť nárazu nezávislá od rýchlosti lietadla. Toto by bolo možné docieľiť aj s využitím systému AMDAR.

Jeden zo skúmaných parametrov, ktorý bol aj graficky vyobrazený v práci, bola teplota vzduchu v aktuálnej letovej hladine. Na grafické zobrazenie teploty sme použili dáta z TAR JAVOR a MOSNIK, pretože práve tieto radary obsahovali dostatočné množstvo údajov Mód S EHS. Dôležité je však priblížiť aj potrebu zapracovania strednej odchýlky pre jednotlivé letové hladiny, ktorá pri porovnaní s pozorovaniami teploty AMDAR (v K) predstavuje omnoho väčší rozsah. Všimnúť si to môžeme na grafickom zobrazení nižšie. Zo štúdie KNMI (De

Haan) je zrejmé, že teplotné odchýlky je možné znížiť pomocou lepšieho algoritmu, ale u komerčných lietadiel by to bol pomalý proces. Práve preto je pre nás omnoho výhodnejšie získavať dáta o teplote priamo zo systému AMDAR. Ak chceme analyzovať rýchlosť vetra bez tohto zväzovania, tak rozdiely pri vetroch s menšou rýchlosťou možno považovať za zanedbateľné hodnoty. Priemerná hodnota je generovaná z Módu S. V rámci týchto 7-denných údajov je vzorka dát a jej stredná odchýlka dvoch veterných polí okolo 20 stupňov pre vietor s menšou rýchlosťou a okolo 10 stupňov pre vyššie rýchlosti vetra. Rozdiel veľkosti je okolo 15-20 m / s v porovnaní s priemernou rýchlosťou vetra okolo 35 m / s. Pri použití priemeru jednej hodiny (160 vzoriek dát) sa rozdiely stanú malými a výrazne sa nelíšia. Je to spôsobené tým, že model už uvažuje o historickom meraní vetra. Je zrejmé, že pri nízkej rýchlosti vetra sú výsledky menej zosúladené s údajmi Módu S MRAR. To však neznamená, že výsledky sú menej presné. Skôr informácie o vetre generované modelom využívajúcim systém AMDAR sú presnejšie, pričom dokážu spracovávať oveľa väčšie časové úseky a zaznamenávať dáta z viacerých oblastí.



Graf 1: Zobrazenie pravdepodobnosti chýb pri určovaní rýchlosti vetra Zdroj: LPS SR.

Teploty vzduchu sú spravidla pri skúmaní stabilnejšie a rovnomerne priestorovo rozložené, čo nám v konečnom dôsledku uľahčuje prácu s predpovedným modelom. Preto s použitím rovnakého modelu na spracovanie údajov je spolu s teplotou možné použiť aj pole, ktoré bude paralelne generovať aj údaje o smere a rýchlosti vetra.

S cieľom kvantifikovať rozdiely, resp. stredné odchýlky pri určovaní smeru vetra a rýchlosti vetra v určitej nadmorskej výške, sa porovnávajú výsledky zo získaných údajov Módu S MRAR s údajmi iných predpovedných modelov. Je zrejmé, že porovnanie so stĺpcovými grafmi uvedenými vyššie potvrdzuje súvislosť so štúdiami prevedenými de Haan a Hrašťovec.

Zvýšenie presnosti predpovedí vetra a teploty má priamy a lineárny vplyv na predpoveď množstva paliva potrebného pre vykonanie daného letu. Pri úspore paliva je preto dôležité rozlišovať medzi postupmi vykonanými pred letom a postupmi prebiehajúcimi počas letu. Na zvýšenie presností spáleného množstva paliva boli vymodelované a vypočítané údaje z AMDAR. Princípy sú nasledovné.

Zaťaženie letúna prostredníctvom paliva je vypočítaný prvok, ktorý čiastočne závisí od presnosti predpovede vetra. V časti extra množstvo paliva alebo rezervné množstvo paliva je možné ušetriť potrebné množstvo paliva, a to tak, že samotná rezerva paliva spôsobuje ďalšie spaľovanie paliva v dôsledku väčšieho množstva hmotnosti paliva, a preto čím presnejšia je predpoveď vetra, tým menšia rezerva paliva je potrebná.

Na konkrétnom príklade jednej leteckej spoločnosti je možné nasimulovať ročné úspory nákladov, vyplývajúce zo zlepšenia predpovede vetra o 2 uzly, a to vďaka dostupnosti AMDAR údajov, ktoré sme použili v numerických predpovediach pri výpočtoch. Letecká spoločnosť použitá pri výpočte výhod údajov AMDAR prevádzkuje lety na Blízky východ s obsluhujúcimi destináciami v Ázii, Európe a Amerike. Flotilu tvorí 54 dvojpodlažných lietadiel (B747-400ER a A380), z toho 152 veľkých lietadiel (B777-300ER a A340) a 21 lietadiel (A330). Výpočet predstavuje potenciálne úspory odvodené zo zlepšených predpovedí vetra, výlučne z dôvodu dostupnosti údajov AMDAR a to nasledovne: Zníženie množstva spáleného paliva o približne 8 400 ton [+/- 25%]. To vedie k zníženiu emisií CO₂ o 26 500 T. Úspora 4,2 mil. USD alebo približne 18 000 dolárov za lietadlo za predpokladu, že cena paliva bude 0,5 USD / kg. Keby sa na programe AMDAR malo podieľať viac komerčných lietadiel, tak vo výsledku by bolo možné získať dostatočné, priestorové a časové pokrytie. Ďalšie zhromaždené údaje by ďalej pokračovali vo zvyšovaní presnosti predpovedí počasia, čo by viedlo k ešte vyššej úspore paliva. Napríklad aj hypotetické predpovedanie chýb vetra o 3 uzly, vedú k ročnej úspore paliva pre už spomenutú leteckú spoločnosť na 6,3 mil. USD [+/- 25%]. [4]

Tabuľka 3: Porovnanie metód získavania údajov na základe štúdie Strajnar a De Haan.

	NWP		Rádio-sonda	
	Skutočná odchýlka	Štandardná odchýlka	Skutočná odchýlka	Štandardná odchýlka
Teplota	0,34	0,82	-0,27	1,7
Rýchlosť vetra	0,11	2,5	-0,34	3
Smer vetra	0,15	12,69	-3,1	23
<hr/>				
AMDAR	Mód S EHS			
	Skutočná odchýlka	Štandardná odchýlka	Skutočná odchýlka	Štandardná odchýlka
Teplota	-0,14	0,39	0,4	0,6
Rýchlosť vetra	0,01	0,83	-0,2	1,5
Smer vetra	0,57	7,2	-1,3	9,9

Údaje AMDAR v súčasnosti poskytujú veľa dobre zavedených výhod pre spoločnosť a životné prostredie prostredníctvom ich použitia v aplikáciách na meteorologické predpovede, leteckú dopravu, riadenie letovej prevádzky, skúmanie podnebia, kvality ovzdušia a taktiež aj pre poľnohospodárstvo. Do budúcnosti sa počíta s expanziou dát v týchto odvetviach spoločnosti, s čím prichádza aj veľké množstvo využiteľného potenciálu. Pozorovania AMDAR majú oproti tradičným zdrojom a zdrojom s diaľkovým snímaním mnoho výhod pri skúmaní meteorologických údajov o vzduchu vo vyšších vrstvách. Zatiaľ čo údaje z rádio-sond poskytujú pozorovania o vzduchu vo vyšších vrstvách atmosféry, ich priestorové a časové pokrytie je slabé. Satelitné údaje poskytujú globálne, diaľkovo zisťované, menej kvalitné pozorovania na úrovniach viditeľnosti. Údaje AMDAR tieto medzery tradičných zdrojov meteorologických údajov vyplňajú a zohrávajú doplňujúcu úlohu poskytovaním vysoko kvalitných a vysokofrekvenčných pozorovaní vo vyšších vrstvách atmosféry. Navyše, najväčší vplyv na jednotku nákladov v lietadle zo všetkých kategórií pozorovacích systémov majú práve tradičné zdroje meteorologických údajov.

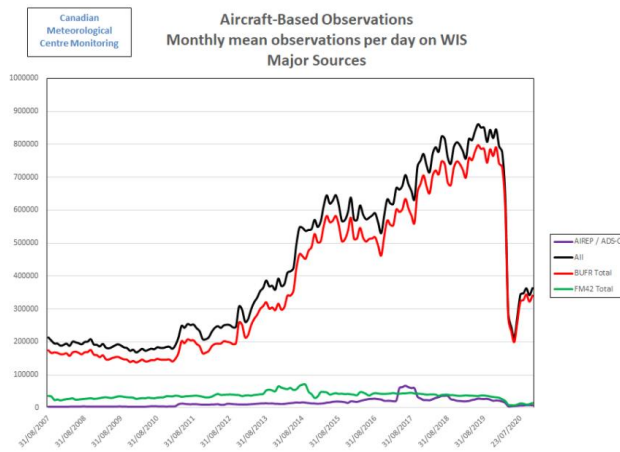
Využitie údajov AMDAR je možné v rade aplikácií vrátane meteorologického predpovedania, monitorovania a predpovede kvality podnebia a kvality ovzdušia, poľnohospodárskych štúdií a riadenia letovej prevádzky a letových operácií. Tieto údaje sú výsledkom efektívneho využitia, ktoré majú údaje AMDAR na tieto aplikácie. Jedná sa o výsledné výhody pre používateľov (spotrebiteľov) a následné zainteresované strany týchto aplikácií, ktoré budú identifikované, analyzované a v niektorých prípadoch kvantifikované ďalej v práci. [5]

S postupným rozširovaním pokrytia programu AMDAR a rozširovaním záznamu údajov AMDAR sa objavili nové oblasti použitia týchto dát. Dopad leteckej dopravy na životné prostredie nadobúda v posledných desaťročiach čoraz väčší význam, najmä vzhľadom na naliehavú otázku globálneho otepľovania spojenú so spaľovaním fosílnych palív. Z tohto dôvodu pripravuje Výbor ICAO pre ochranu životného prostredia v letectve (CAEP) projekcie environmentálnych trendov ako základ pre svoje rozhodovanie o záležitostiach týkajúcich sa životného prostredia. Využitie údajov AMDAR v rade aplikácií poskytuje priame aj nepriame výhody pre životné prostredie a spoločnosť v závislosti od konkrétnej oblasti použitia. Každá podkapitola časti praktické využitie dát predstavuje súčasné aplikácie a ich výhody a potom pojednáva o potenciálnych výhodách do budúcnosti. Medzi oblasti využitia AMDAR údajov patria: [5]

- Meteorologické predpovede
- Riadenie a manažment letovej prevádzky
- Klimatologická predpoveď a monitorovanie podnebia
- Monitorovanie kvality ovzdušia
- Štúdie a aplikácie pre poľnohospodárstvo

Pandémia COVID-19 viedla nedávno k masívnemu, globálnemu obmedzeniu komerčných letov a výraznému zníženiu priestorového a časového pokrytia ABO. Táto kríza zdôraznila význam dostupnosti dát z ABO pre asimiláciu údajov NWP, čo viedlo k návrhom, že pokračujúci pokles pokrytia pozorovaním by mohol nepriaznivo ovplyvniť schopnosť predpovedať NWP. Je

dôležité preskúmať túto hypotézu pomocou starostlivo kontrolovaných experimentov, ktoré si popíšeme aj v tejto práci. Pandémia Covid-19 samozrejme zasiahla aj širšiu komunitu okolo AMDAR či už vo verejnom, alebo súkromnom sektore. Mnohí čelia významným výzvam pri udržaní prevádzok v maximálnom rozsahu, v akom to podmienky umožňujú pri poskytovaní cenných údajov pre podniky na podporu poveternostných a leteckých operácií na zabezpečenie bezpečnosti. Vďaka mnohým novým online nástrojom na spoluprácu, úsilie získavať údaje pokračovalo, aj keď bolo obmedzené v schopnosti cestovať a stretávať sa osobne.



Graf 2: Pokles pozorovaní parametrov vplyvom pandémie COVID-19
Zdroj: <https://sites.google.com/a/wmo.int/amdar-news-and-events/newsletters/volume-20-october-2020>

5. Záver

Na základe viacerých dát zo štúdií meteorologických parametrov sa preukázalo, že vysoko kvalitné a vysokofrekvenčné pozorovania teploty a vetra AMDAR zvyšujú kvalitu predpovedí v regionálnom aj globálnom meradle. Aj naše výsledky ukazujú, že údaje z lietadiel letiacich v cestovných hladinách a počas stúpania a klesania poskytujú dôležité informácie na zlepšenie predpovedí, a to tak z hľadiska dlhodobých predpovedí, ako aj z hľadiska krátkodobých predpovedí. Aj keď globálne satelitné mikrovlnné pozorovania majú najväčší priemerný vplyv na globálne, predpovedné systémy, pozorovania AMDAR sa stali uznávaným zdrojom dát ako súčasť týchto systémov po celom svete.

V oblastiach s hustejším pokrytím radarmi sa využitie meteorologických údajov o vzduchu stalo najdôležitejším súborom údajov na použitie v regionálnych aplikáciách NWP, najmä ak sú tiež zahrnuté údaje o vlhkosti vzduchu. Jedinou vlastnosťou správ AMDAR je, že poskytujú údaje o teplote aj vetre na rovnakých miestach a v profiloch vytvorených počas stúpania a klesania, čím poskytujú explicitné dvojrozmerné informácie o baroklinických úpravách potrebných v systémoch pri tvorbe predpovedí. Pretože údaje sú k dispozícii nepretržite pozdĺž letových trás, pozorovania tiež poskytujú informácie o gradientoch vetra a teploty. Dostupnosť viacerých správ na letových trasách je dôležitá aj pre krížové overenie a kontrolu kvality (WMO 2014b).

K rastu systému AMDAR došlo hlavne v rozvinutých krajinách, zatiaľ čo v rozvojových a najmenej rozvinutých krajinách pokrok v implementácii zaostával a v súčasnosti zaostáva, pretože

zlepšenia, ktoré sa dajú pripísať pozorovaniám AMDAR, sa sústredili do oblastí s najvyššou dostupnosťou údajov. Je možné teda očakávať viaceré zlepšenia v odľahlých regiónoch, pretože sa globálne zvyšuje priestorové a časové pokrytie správ AMDAR. Ako prostriedok na podporu ďalšieho rozšírenia AMDAR by sa mali vyvinúť prostriedky spolupráce (vrátane možných príležitostí na zdieľanie nákladov), a to tak s cieľom pokračovať v rozširovaní pozorovacej siete AMDAR do oblastí, ktoré v súčasnosti nie sú primerane pokryté, a zvýšiť počet lietadiel poskytujúcich údaje, najmä v oblasti sveta, kde je veľmi slabé pokrytie radarmi. To by malo zahŕňať zavedenie osobitného úsilia v regionálnych a globálnych centrách NWP s cieľom pokračovať v hodnotení vplyvu a nákladovej efektívnosti všetkých komponentov pozorovacích systémov s cieľom podporiť rýchle rozšírenie tohto systému, ktoré majú vysokú hodnotu a nízke náklady.

Referencie

- [1] The AMDAR Observing System Description | World Meteorological Organization” [cit dec. 28, 2020], Dostupné na internete: <https://community.wmo.int/activity-areas/aircraft-based-observations/amdar/amdar-description>
- [2] W. M. Organization (WMO) a World Meteorological Organization (WMO), Guide to Aircraft-based Observations, 2017 edition. Geneva: WMO, 2017. [cit jan. 11, 2021] Dostupné na internete: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4120
- [3] Y. Zhang, K. Sun, Z. Gao, Z. Pan, M. A. Shook, a D. Li, “Diurnal Climatology of Planetary Boundary Layer Height Over the Contiguous United States Derived From AMDAR and Reanalysis Data”, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, roč. 125, č. 20, 2020, [cit máj. 04, 2021] Dostupné na internete: [10.1029/2020JD032803](https://doi.org/10.1029/2020JD032803).
- [4] AMDAR Benefits to the Air Transport Industry”, World Meteorological Organization, jún. 26, 2018. [cit feb. 20, 2021] Dostupné na internete: <https://public.wmo.int/en/resources/library/amdar-benefits-air-transport-industry>
- [5] E. Avsar a W. M. Organization (WMO), WIGOS Technical Report, 2018-01. WIGOS, WMO Integrated Global Observing System - Benefits to the Environment and Society from the Availability and Use of AMDAR Data. Geneva: WMO, 2018. [cit jan. 13, 2021] Dostupné na internete: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5416
- [6] Novák, A., 2015. Komunikačné, navigačné a sledovacie zariadenia v letectve, Bratislava, DOLIS, 2015, ISBN 978-80-8181-014-5
- [7] Novák, A., Novák Sedlačková, A., Janovec, M., 2020. Komunikačné systémy v letectve EDIS - Žilina, Žilinská univerzita v Žiline, 2020, ISBN 978-80-554-1737-0