



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

Fakulta dopravní  
Ústav letecké dopravy

**Návrh rozšíření RVSM prostoru nad FL410**  
**A Proposal for an Extension of the RVSM Airspace above FL410**

**Diplomová práce**

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor: Provoz a řízení letecké dopravy

Vedoucí práce: Ing. Viktor Valenta

**Bc. Maxim Delitsyn**

---

Praha 2022



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
Fakulta dopravní  
děkan  
Konviktská 20, 110 00 Praha 1



**K621.....Ústav letecké dopravy**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Maxim Delitsyn**

Studijní program (obor/specializace) studenta:

**navazující magisterský – PL – Provoz a řízení letecké dopravy**

Název tématu (česky): **Návrh rozšíření RVSM prostoru nad FL410**

Název tématu (anglicky): A Proposal for an Extension of the RVSM Airspace above  
FL410

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem diplomové práce je navrhnout rozšíření prostoru se sníženými minimy vertikálního rozstupu nad letovou hladinu 410.
- Proved'te rozbor legislativních požadavků na rozestupy letadel.
- Proved'te analýzu přesností výškoměrů.
- Proved'te analýzu spotřeby paliva letadly využívajících vysokých letových hladin.
- Proved'te analýzu ekonomického a ekologického dopadu rozšíření RVSM prostoru.
- Diskutujte výsledky a přínos rozšíření RVSM prostoru.



- 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: International Civil Aviation Organization, Doc 9574, Manual on a 300 m (1 000 ft) Vertical Separation Minimum Between FL 290 and FL 410 Inclusive. 2012, ISBN: 978-92-9249-059-1  
Federal Aviation Administration, AC 91-85 Authorization of Aircraft and Operators for Flight in RVSM Airspace. 2019

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Viktor Valenta**

Datum zadání diplomové práce: **16. července 2021**  
(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: **30. listopadu 2022**  
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



prof. Ing. Ondřej Příbyl, Ph.D.  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Maxim Delitsyn  
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 17. května 2022



## **Abstrakt**

Cílem této diplomové práce je návrh rozšíření prostoru se sníženými minimy vertikálního rozstupu nad letovou hladinou 410. Motivací k této práci je fakt, že většina současných velkých dopravních letadel má provozní dostup nad letovou hladinou 410, avšak ne vždy toho využijí. Spotřeba paliva ve větších hladinách je menší, a je tak dobré umožnit letadlům létat co nejbližší své optimální hladině, což bude mít za následek zmenšení objemu produkovaných emisí. Jakožto zdroj dat získaných při měření spotřeby, byl systém plánování letů SimBrief. Dále byla provedena analýza přesnosti výškoměrů pro ověření schopnosti splnit požadavky prostoru se sníženými minimy vertikálního rozstupu nad letovou hladinou 410. Výsledkem práce je potvrzení základního předpokladu o menší spotřebě paliva při letech nad letovou hladinou 410 a dostačující přesnosti současných výškoměrů, která odpovídá požadavkům na současný prostor se sníženými minimy vertikálního rozstupu.

**Klíčová slova:** hladina, palivo, rozstup, spotřeba, výškoměr



## **Abstract**

The aim of this thesis is to propose an extension of the area with reduced vertical separation minimums above flight level 410. The motivation for this thesis is that most current large transport aircraft have operational ceiling above flight level 410, but do not always take advantage of it. Fuel consumption at higher levels is less, so it is a good idea to allow aircraft to fly as close to their optimum level as possible, which will result in a reduction in the amount of emissions produced. The source of the data obtained from the consumption measurements was the SimBrief flight planning system. In addition, an analysis of the accuracy of the altimeters was performed to verify the ability to meet the requirements of the area with reduced vertical separation minimums above flight level 410. The result of the work is a confirmation of the basic assumption of lower fuel consumption when flying above flight level 410 and sufficient accuracy of current altimeters to meet the requirements of the current space with reduced vertical separation minima.

**Keywords:** altimeter, consumption, flight level, fuel, separation



## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Viktoru Valentovi za odborné vedení a konzultování diplomové práce a za rady, které mi poskytoval po celou dobu mého studia. Dále bych rád poděkoval rodině a blízkým za podporu, ochotu a pochopení v průběhu studia.



### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem Návrh rozšíření RVSM prostoru nad FL410 vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k diplomové práci.

Nemám závažný důvod proti užití 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).

Praze dne 30. listopadu 2022

.....  
*Podpis*



## Obsah

Úvod .....	12
1. Současný stav .....	13
1.1 Posouzení rizika .....	14
1.2 Monitorování provozu v prostoru RVSM .....	16
1.3 Statistika využití současného RVSM prostoru .....	19
1.4 Výškoměry .....	25
1.4.1 Chyby barometrického výškoměru .....	27
1.5 Aerometrická centrála (ADC).....	29
1.6 Chyba výškoměrného systému (ASE) .....	31
1.7 Požadavky na barometrický výškoměr v prostoru RVSM.....	38
1.8 Požadavky na plánování paliva .....	39
1.9 Ceny leteckých pohonných hmot.....	42
2. Metody.....	45
2.1 Analýza letových plánů.....	45
2.2 Měření přesnosti statického systému.....	51
3. Výsledky .....	54
3.1 Výsledky analýzy letových plánů .....	54
3.2 Výsledky měření přesnosti výškoměrů .....	63
4. Diskuse.....	65
5. Závěr .....	69
Seznam použité literatury .....	71





## Seznam obrázků

Obrázek 1: Stav implementace prostoru RVSM v listopadu 2011 .....	14
Obrázek 2: HMU stanice v Evropě [5] .....	18
Obrázek 3: Schéma výškoměru [25] .....	26
Obrázek 4: Schéma servovýškoměru [25].....	27
Obrázek 5: Tolerance přístrojových chyb barometrických výškoměrů [25] .....	29
Obrázek 6: Diagram ADC [9] .....	31
Obrázek 7: Celková vertikální chyba [10].....	32
Obrázek 8: Trať EGLL-YPDN .....	47
Obrázek 9: Trať YPDN-EGLL .....	48
Obrázek 10: Trať EGLL-FACT .....	49
Obrázek 11: Trať FACT-EGLL .....	50
Obrázek 12: Plánované palivo na let ve FL410 do YPDN .....	55
Obrázek 13: Plánované palivo na let ve FL430 do YPDN .....	56
Obrázek 14: Plánované palivo na let ve FL400 do EGLL .....	57
Obrázek 15: Plánované palivo na let ve FL420 do EGLL .....	58
Obrázek 16: Plánované palivo na let ve FL430 do EGLL .....	59
Obrázek 17: Plánované palivo na let ve FL410 do FACT .....	60
Obrázek 18: Plánované palivo na let ve FL430 do FACT .....	61
Obrázek 19: Plánované palivo na let ve FL400 do EGLL .....	62
Obrázek 20: Plánované palivo na let ve FL420 do EGLL .....	63



## Seznam tabulek

Tabulka 1: Technické riziko v období 2006 - 2018 .....	21
Tabulka 2: Statistika RVSM provozu v Kanadě 2020-2021 .....	21
Tabulka 3: Hladina rizika v Kanadě v roce 2021 .....	22
Tabulka 4: Linka LAX-AKL .....	23
Tabulka 5: Linka AKL-LAX .....	23
Tabulka 6: Linka LAX-SYD .....	24
Tabulka 7: Linka SYD-LAX .....	24
Tabulka 8: Ceny paliva JET A1 pro týden od 14.10.2022 [18].....	42
Tabulka 9: Shrnutí podmínek analýzy .....	46
Tabulka 10: Vztah mezi optimální hladinou a hmotností.....	51
Tabulka 11: Tabulka tolerance přesnosti výškoměru [16].....	53
Tabulka 12: Výsledky měření přesnosti výškoměrů .....	64
Tabulka 13: Shrnutí rozdílů ve spotřebě paliva .....	65



## Seznam grafů

Graf 1: Pohyby v RVSM prostoru Blízkého východu .....	20
Graf 2: Pohyb letadel v RVSM prostoru Blízkého východu mezi lety 2009 a 2018 .....	20
Graf 3: Vertikální odchylky v RVSM Kanady v roce 2021 [7] .....	33
Graf 4: Dobrý profil ASE [12] .....	35
Graf 5: Profil ASE se zhoršením v čase [12] .....	36
Graf 6: Detekce zhoršeného ASE [12] .....	37
Graf 7: Korelace mezi cenou paliva Jet a cenou na ropu [18] .....	43
Graf 8: Změna ceny paliva Jet za poslední rok [18] .....	44



## Seznam symbolů a zkratek

ADC	Aerometrická centrála (Air Data Computer)
ADIRU	Inerciální referenční jednotka leteckých dat (Air Data Inertial Reference Unit)
ADS-B	Automatické závislé sledování - vysílání (Automatic Dependent Surveillance–Broadcast)
AMSL	Nad střední hladinou moře (Above Mean Sea Level)
ASE	Chyba výškoměrného systému (Altimetry System Error)
EGLL	Letiště Heathrow, Velká Británie
FACT	Letiště Kapské Město, Jihoafrická republika
FIR	Letová informační oblast (Flight Information Region)
FL	Letová hladina (Flight Level)
GPS	Globální polohový systém (Global Positioning System)
HMU	Pozemní monitorovací jednotka (Height Monitoring Unit)
hPa	Hectopascal
ICAO	Mezinárodní organizace pro civilní letectví (International Civil Aviation Organization)
RMA	Regionální monitorovací agentura (Regional Monitoring Agency)
RVSM	Prostor se sníženými minimy vertikálního rozstupu (Reduced Vertical Separation Minima)
SSR	Sekundární přehledový radar (Secondary surveillance radar)
TAS	Pravá vzdušná rychlost (True Air Speed)
TLS	Cílová úroveň bezpečnosti (Target Level of Safety)
TVE	Celková vertikální chyba (Total Vertical Error)
VOR	VKV všesměrový radiomaják (VHF Omnidirectional Radio Range)
VSM	Vertikální minima rozestupů (Vertical Separation Minimum)
YPDN	Letiště Darwin, Austrálie
ZFW	Hmotnost letadla bez paliva (Zero Fuel Weight)



## Úvod

Celosvětová letecká doprava neustále zvyšuje své objemy i přes veškeré krize. Nedílnou součástí tohoto rozvoje bylo začátkem 21. století zavedení prostoru se sníženými vertikálními minimy (RVSM) mezi letovými hladinami 290 a 410. Toto řešení umožnilo zvětšení kapacity vzdušného prostoru a snížení spotřeby paliva díky využití letadly optimálních letových hladin. Evropský vzdušný prostor nebyl výjimkou.

Dle Evropské organizace pro bezpečnost leteckého provozu (Eurocontrol) zavedení RVSM, programu, který změnil využití vzdušného prostoru nad FL290, bylo jednou z největších a nejrozsáhlejších změn, které kdy byly v evropském vzdušném prostoru provedeny [1].

V současné době jsou moderní letadla, zejména širokotrupá, schopna využívat i vyšších hladin než současný horní limit RVSM. Nicméně kvůli zvětšení vertikálních rozestupů nad RVSM prostorem tato letadla často nemohou využít hladiny nad FL410 a jsou tak nucena spotřebovat více paliva v nižších hladinách. Toto omezení s sebou přináší negativní ekonomické a ekologické dopady.

Tato práce je zaměřena na analýzu současného stavu a posouzení přínosu potenciálního rozšíření RVSM prostoru nad letovou hladinu 410. V kapitole současný stav jsou rozebrány legislativní požadavky na tento prostor a technickou způsobilost letadlových systémů. Dále je v práci popsán současný stav leteckých výškoměrů a dalších systémů měření výšky. V neposlední řadě obsahuje zpracované statistiky využití současného prostoru RVSM.

V praktické části této diplomové práce byly použity dvě metody, jimiž jsou analýza letových plánů a spotřeby letadel na dálkových trasách a analýza přesnosti výškoměrů. Výsledky analýz objasňují, zda je rozšíření RVSM prostoru nad FL410 možné. Závěrem praktické části je představení výsledků ekonomického a ekologického dopadu tohoto řešení.



## 1. Současný stav

Pro bezpečný a plynulý provoz letadel po celém světě je potřeba zachování určitých rozstupů. Tyto rozstupy mohou být jak vertikální, tak i horizontální. Poslední se dělí na příčné a podélné. Minima těchto rozstupů jsou stanovené dle standardů a doporučených postupů ICAO Doc 4444, případně v prováděcím nařízení Evropské komise č. 923/2012 ze dne 26. září 2012. Tato práce se zabývá vertikálními minimy rozstupů mezi letadly a jejich vývojem v čase.

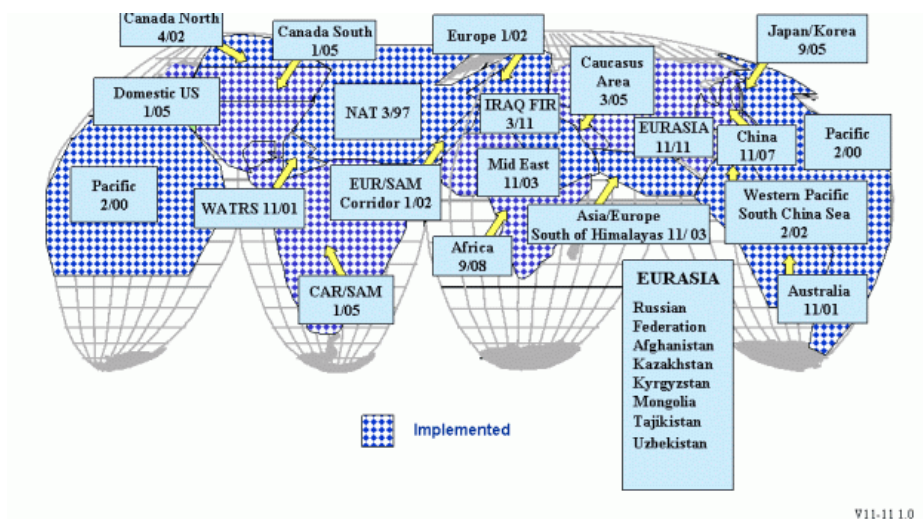
Koncem 50. let 20. století bylo zjištěno, že v důsledku snížení přesnosti snímání tlaku barometrických výškoměrů s rostoucí nadmořskou výškou nad určitou letovou hladinou (FL) je třeba zvýšit předepsané minimum vertikálního rozstupu (VSM) 300 m (1 000 ft). V roce 1960 bylo zvýšeno VSM na 600 m (2 000 stop) pro použití letadly operujícími nad FL 290 s výjimkou případů, kdy na základě regionální letecké navigace byla předepsána nižší letová hladina. Výběh FL 290 jako vertikální hranice pro 300 m (1 000 ft) VSM nebylo ani tak empiricky podložené rozhodnutí, jako spíše funkce provozního dostupu letadel v té době. V roce 1966 byla přechodní hladina 290 stanovena na globálním základě [2].

V polovině 70. let 20. století řada celosvětových nedostatků paliva a z toho vyplývající rychlý nárůst nákladů na palivo spolu s rostoucí poptávkou po efektivnějším využívání dostupného vzdušného prostoru zdůraznily potřebu podrobného posouzení návrhu na snížení VSM nad FL 290. Proto na svém čtvrtém zasedání (v roce 1980) dospěla skupina ICAO pro přezkoumání koncepce všeobecného rozstupu k závěru, že navzdory nákladům a času jsou potenciální přínosy snížení VSM nad 290 m (1 000 stop) tak velké, že by státy měly být vyzvány k provedení nezbytných rozsáhlých hodnocení [2].

V roce 1982 zahájily státy pod koordinací RGCSP (Review of the General Concept of Separation Panel) programy, jejichž cílem bylo komplexně prozkoumat otázku snížení VSM nad FL 290. Studie provedly Kanada, Japonsko, členské státy organizace EUROCONTROL (Francie, Spolková republika Německo, Nizozemské království a Spojené království), Svaz sovětských socialistických republik a Spojené státy americké a v prosinci 1988 byly výsledky posouzeny RGCSP na svém šestém zasedání (RGCSP/6) [2].

Výsledkem těchto studií bylo zavedení prostoru se sníženými vertikálními rozstupy mezi hladinou FL290 a FL410.

V letech 1997-2005 byl systém RVSM zaveden v celé Evropě, severní Africe, jihovýchodní Asii, Severní Americe, Jižní Americe a nad severním Atlantikem, jižním Atlantikem a Tichým oceánem [3].



Obrázek 1: Stav implementace prostoru RVSM v listopadu 2011

Největší výhodou implementace tohoto prostoru je teoretické zdvojnásobení kapacity vzdušného prostoru mezi FL290 a FL410 a příležitost pro letadla využívat svoji optimální letovou hladinu.

Aby letadlo mohlo využít tohoto prostoru, stát zápisu do rejstříku musí vydat schválení o provozu RVSM. Kromě toho, posádka tohoto letadla musí projít speciálním úvodním a udržovacím výcvikem, který obsahuje nácvik normálních a nestandardních situací při využití prostoru RVSM.

### 1.1 Posouzení rizika

Důležitým procesem při schválení letounu pro provoz v RVSM prostoru je posouzení jeho schopnosti udržovat a kontrolovat svoji výšku. Když toho letadlo není schopné, existuje větší riziko narušení minimálního rozestupu a kolizí letadel ve vzduchu. Proto byla zavedená přijatelná úroveň rizika, která nesmí být překročena.

Posouzení rizika se skládá ze dvou prvků: zaprvé z odhadu rizika, který se týká vývoje a použití metod a technik, pomocí nichž lze odhadnout skutečnou úroveň rizika činnosti, a zadruhé z hodnocení rizika, které se týká úrovně rizika považované za maximální přípustnou hodnotu



pro bezpečný systém. Úroveň rizika, která je považována za přijatelnou, byla označena jako cílová úroveň bezpečnosti (TLS) [2].

Odvozené hodnoty TLS se pohybovaly mezi  $1 \times 10^{-8}$  a  $1 \times 10^{-9}$  smrtelných nehod na letovou hodinu letadla. Na základě těchto hodnot bylo dohodnuto, že pro posouzení technické proveditelnosti VSM 300 m (1 000 ft) nad FL 290, a také pro vypracování požadavků na schopnost letadla udržet výšku pro provoz ve VSM 300 m (1 000 ft) bude použita hodnota TLS  $2,5 \times 10^{-9}$  smrtelných nehod na letovou hodinu letadla [2].

Na základě posouzení TLS ve výši  $2,5 \times 10^{-9}$  smrtelných nehod na letovou hodinu letadla dospěla komise šestého zasedání RGCSP/6 k závěru, že VSM 300 m (1 000 ft) nad FL 290 jsou technicky proveditelné. Tato technická proveditelnost se týká základních schopností systémů udržování výšky letadla, které by mohly být postaveny, udržovány a provozovány tak, aby očekávaná nebo typická výkonnost odpovídala bezpečnému zavedení a používání VSM 300 m (1 000 ft) nad FL 290 [2].

Celkové bezpečnostní posouzení při zavedení RVSM prostoru se skládá z posouzení technického a celkového rizika.

Technické riziko je riziko srážky spojené s udržováním výšky letadla. Riziko spojené s provozními chybami (např. chybami řídicího/pilota) a nepředvídanými událostmi za letu není zahrnuto. Bezpečnostní cíl RVSM pro technické riziko je TLS  $2,5 \times 10^{-9}$  smrtelných nehod na letovou hodinu letadla [2].

Celkové riziko je riziko srážky ze všech příčin, které zahrnuje technické riziko a veškeré riziko způsobené provozními chybami a nepředvídanými událostmi za letu, jako jsou chyby pilota/řídicího, odchylky výšky v důsledku nouzových postupů a turbulence. Bezpečnostní cíl RVSM pro celkové riziko by měl být stanoven regionální dohodou [2].

Dalším důležitým parametrem systému je Globální výkonnostní specifikace systému. Globální specifikace výkonnosti systému je vyjádřením parametrů, které tvoří základ pro definování integrovaného souboru požadavků na udržování výšky letadla, systémy letadla, provozní postupy letadla, postupy ATC a monitorovací postupy. Globální specifikace výkonnosti systému definuje výkonnost udržování výšky, nezbytné pro splnění bezpečnostního cíle pro technické riziko RVSM. Tato úroveň výkonnosti udržování výšky závisí na konkrétních hodnotách důležitých parametrů vzdušného prostoru, které ovlivňují riziko srážky v případě ztráty vertikálního rozstupu. Požadavek na výkonnost udržování výšky ve specifikaci





výkonnosti systému je vyjádřen jako maximální hodnota pravděpodobnosti, že letadla ztratí vertikální rozstup, rovnající se hodnotě RVSM,  $P_z(1\ 000)$  [2].

Tato specifikace byla původně navržena pro protisměrný provoz. V takovém případě jsou důležitými parametry vzdušného prostoru frekvence, s jakou se letadla míjejí při procedurálním vertikálním rozstupu rovném RVSM a bez nominálního horizontálního rozstupu, a směrodatná odchylka chyby, s níž letadla udržují přidělenou trať. Kvantitativní vyjádření specifikace výkonnosti globálního systému jsou následující:

- frekvence míjení rovnající se 2,5 v protisměru

průletů za letovou hodinu letadla;

- směrodatná odchylka boční chyby při udržování dráhy

rovnající se 550 m (0,3 NM); a

- pravděpodobnost, že dvě letadla ztratí procedurální vertikální rozstup hodnoty RVSM,  $P_z(1\ 000)$ , rovnající se  $1,7 \times 10^{-8}$  [2].

Ačkoli byla globální specifikace výkonnosti systému odvozena a formulována z hlediska protisměrného provozu, platí i pro jiné struktury tras, např. stejnosměrný provoz, křížující se provoz a kombinace jejich kombinací. Pro každý typ struktury trasy je k dispozici ekvivalentní formulář globální specifikace výkonnosti systému [2].

## 1.2 Monitorování provozu v prostoru RVSM

Pro bezpečný provoz ve výškách se sníženými vertikálními minimy rozestupů je nezbytné monitorování celého systému v kontextu technického a celkového rizika. Pro tento účel byly stvořené regionální monitorovací agentury (Regional Monitoring Agency – RMA).

Celkem ve světě je 13 regionálních monitorovacích agentur:

- Regionální monitorovací agentura pro Afriku a Indický oceán (AFI) (ARMA)

- Monitorovací agentura pro oblast Asie (MAAR)

- Australská agentura pro monitorování vzdušného prostoru (AAMA)

- Čínská regionální monitorovací agentura (China RMA)

- Regionální monitorovací agentura Eurasie (EURASIA RMA)

- Evropská regionální monitorovací agentura (EUR RMA)



- Japonská agentura pro monitorování bezpečnosti vzdušného prostoru (JASMA)
- Regionální monitorovací agentura pro Blízký východ (MIDRMA)
- Severoamerická organizace pro registraci a monitorování (NAARMO)
- Pacifická organizace pro registraci a monitorování (PARMO)
- Karibská a jihoamerická monitorovací agentura (CARSAMMA)
- Jihoatlantická monitorovací agentura (SATMA)
- Ústřední agentura pro monitorování severního Atlantiku (NAT CMA)

Monitorování provozu v RVSM prostoru probíhá několika způsoby. Mezi ně patří satelitní monitorovací jednotky (GPS-based Monitoring Units GMUs), pozemní monitorovací jednotky HMUs a ADS-B monitorovací jednotky AHMS.

Satelitní monitorovací jednotka GMU je přenosný přístroj, který si na palubu přinesou a obsluhují vyškolení technici. Tato metoda využívá údaje GPS ke shromažďování polohy letadla, které se pak používají v procesu stanovení ASE. Používá se od roku 1996.

Pozemní monitorovací jednotky HMU se skládají z konstelací pozemních stanic. Celé systémy HMU jsou umístěny na pevných místech a automaticky vytvářejí odhady geometrické výšky vhodně vybavených letadel letících v oblasti pokrytí konstelace pozemních stanic.

AHMS systém využívá ADS-B data z letadel, využívajících RVSM prostor.

Zodpovědnou organizací za monitorování a podporu provozu letadel v evropském vzdušném prostoru se sníženým vertikálním rozstupem (RVSM) je Evropská regionální monitorovací agentura (EUR RMA). Její jednotlivé odpovědnosti zahrnují ověřování dodržování požadavků na schválení RVSM ze strany provozovatelů, sledování dodržování výšky letadel, provádění hodnocení bezpečnosti vzdušného prostoru podle požadavků regionální plánovací skupiny ICAO.

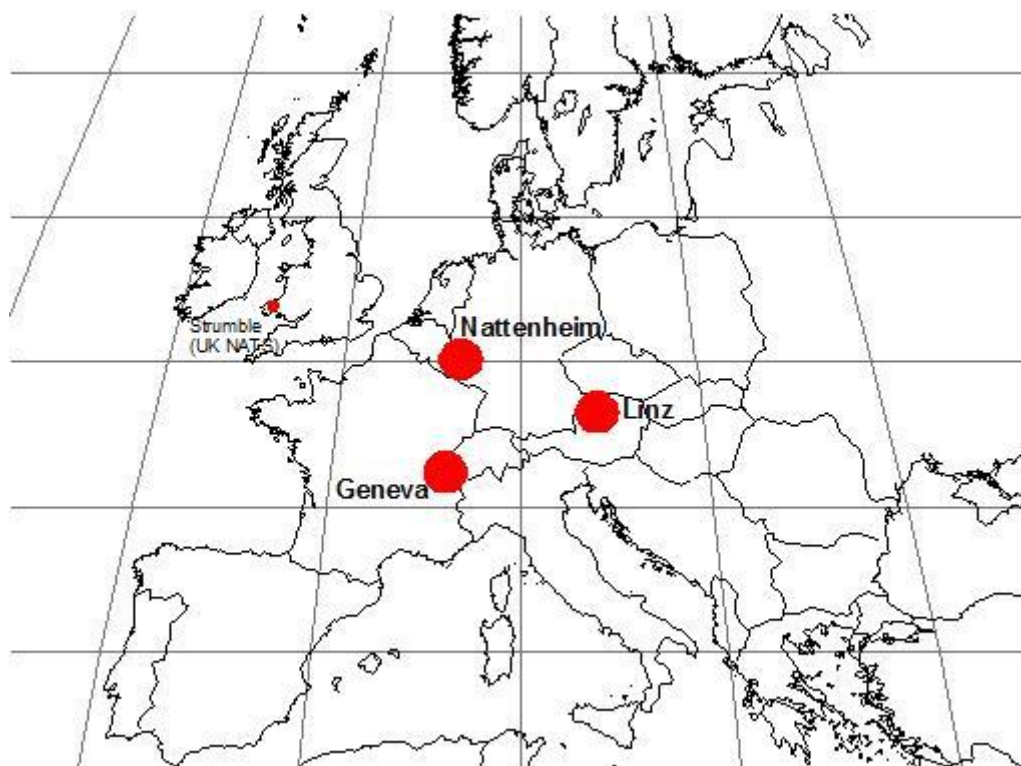
EUR RMA spravuje databázi všech provozovatelů a letadel, kterým jeden z akreditovaných států vydal povolení k provozu s vertikálním rozstupem 1 000 ft ve vzdušném prostoru RVSM. Všichni provozovatelé letadel schválených k letu s vertikálním rozstupem 1 000 ft ve vzdušném prostoru RVSM se musí účastnit celosvětového programu monitorování výšky RVSM. Provozovatelé mohou být monitorováni různými způsoby a v jakémkoli regionu.

EUROCONTROL provozuje 3 stacionární pozemní jednotky pro monitorování výšky (HMU), které podporují monitorování v evropském vzdušném prostoru. Tyto tři evropské systémy monitorování výšky jsou rozmístěny na následujících místech:

Ženeva ve Švýcarsku -  $46^{\circ}21'49''\text{N}$ ... $005^{\circ}55'34''\text{E}$  (poblíž GVA VOR);

Linec v Rakousku -  $48^{\circ}12'08''\text{N}$ ... $014^{\circ}17'35''\text{E}$  (poblíž LNZ VOR);

Nattenheim v Německu -  $49^{\circ}56'45''\text{N}$ ... $006^{\circ}33'25''\text{E}$  (v blízkosti letiště Bitburg (EDRB) se souřadnicemi N49 56,7 a E006 33,9 [5].



Obrázek 2: HMU stanice v Evropě [5]

Pokrytí každé HMU má poloměr 45 NM. Tyto systémy jsou plně automatické a jsou navrženy pro provoz 24 hodin denně, 365 dní v roce [5].

HMU (Height Monitoring Unit) je pozemní systém sestávající ze dvou hlavních součástí – HME (Height Monitoring Element) a TMU (Total vertical error Monitoring Unit) [5].

HME zachycuje signály odpovídačů letadel, které odpovídají na dotazy radarových stanic. Signály obsahují informace z vysílání v režimech S, C a A. HME určuje geometrickou výšku a polohu letadla porovnáním času příjmu signálů odpovídače SSR na různých místech



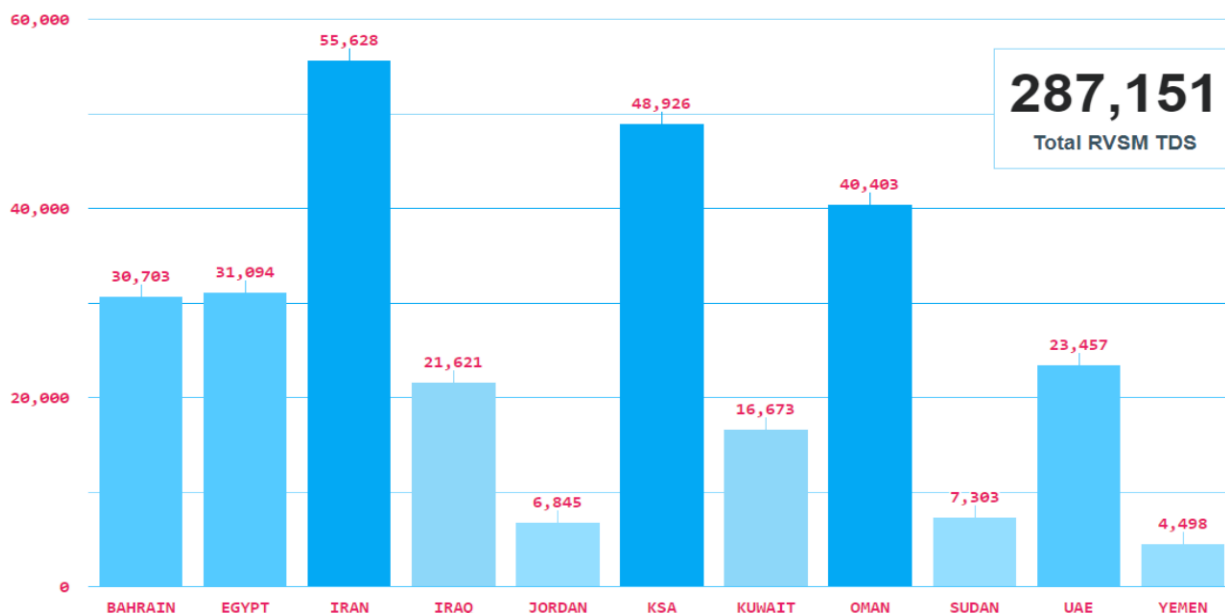
přijímače. Tyto informace jsou přenášeny do TMU jako jeden výstup za sekundu. TMU tyto údaje porovnává a vytváří historii trasy letadla prolétajícího oblastí pokrytí. Informace o trase se pak kombinují s meteorologickými údaji pro vyhodnocení celkové hodnoty celkové vertikální chyby (TVE) [5].

Po dokončení procesu monitorování se pro každé měřené letadlo odečtou hodnoty TVE (Total Vertical Error), AAD (Assigned Altitude Deviation) a ASE (Altimeter System Error). V evropském kontextu jsou výsledky monitorování výšky automaticky předávány do EUR RMA v bruselském ústředí EUROCONTROL, kde jsou ověřovány a připisovány schváleným letadlům a provozovatelům [5].

Každé letadlo vysílající 24bitový identifikátor letadla ICAO, které letí mezi FL 290 a FL 410 v oblasti provozního pokrytí HMU, je detekováno systémy HMU. Aby byla zajištěna přesnost výsledku, je nutné, aby letadlo letělo rovně a vodorovně po dobu minimálně pěti minut ve výše definované oblasti pokrytí [4].

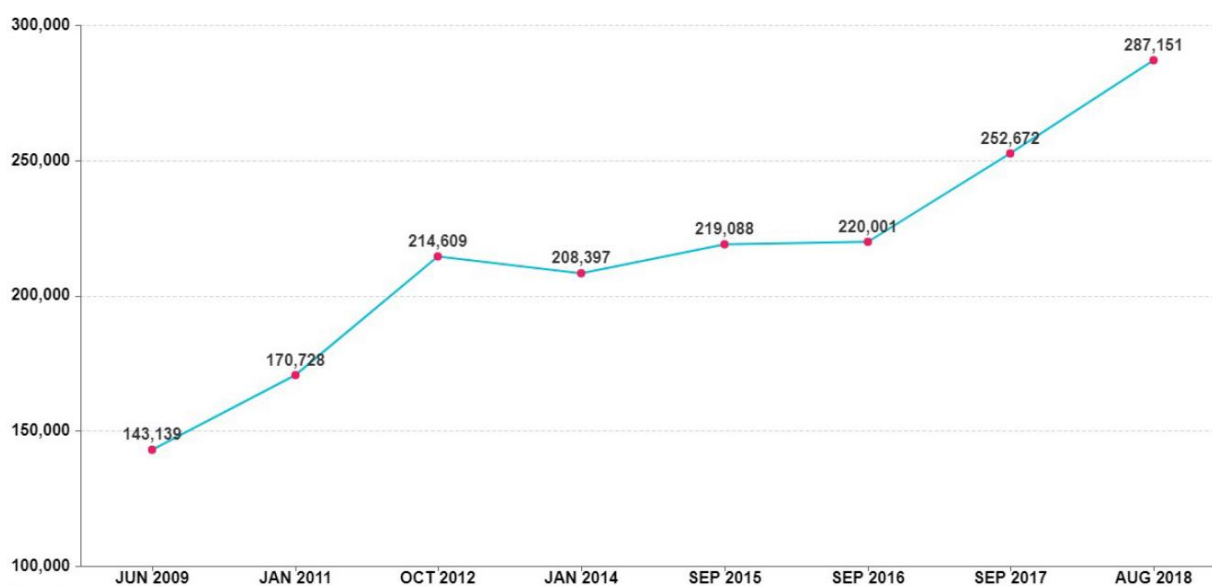
### **1.3 Statistika využití současného RVSM prostoru**

V současné době prostor RVSM je využíván většinou dopravních letadel po celém světě. V roce 2019 Regionální agentura Blízkého východu představila statistiku využití prostoru RVSM v 11 letových informačních oblastech (FIR/UIR), spadajících pod její kontrolu. Mezi tyto oblasti patří FIRy: Amman, Bahrain, Beirut, Baghdad, Cairo, Damascus, Emirates, Jeddah, Kuwait, Khartoum, Muscat, Sana'a, Tehran a Tripoli. V srpnu 2018 v těchto 11 oblastech se pohybovalo 287 tisíc 151 letadel [6].



Graf 1: Pohyby v RVSM prostoru Blízkého východu

Meziroční nárůst pohybu letadel v RVSM prostoru je zobrazen na grafu č.2. Pohledem na graf se dá zaznamenat dvojnásobný nárůst využití prostoru RVSM v těchto státech.



Graf 2: Pohyb letadel v RVSM prostoru Blízkého východu mezi lety 2009 a 2018



Riziko srážky v RVSM prostoru států Blízkého východu v roce 2018 v důsledku selhání technického udržení výšky se odhaduje na  $1,587 \times 10^{-11}$  smrtelných nehod na letovou hodinu, což je méně než cílová úroveň bezpečnosti TLS ICAO  $2,5 \times 10^{-9}$  [6].

I za předešlé roky se hodnota rizika drží pod cílovou hladinou bezpečnosti, viz. tabulka č.1.

Hodnoty Technického rizika				
Rok 2006	Rok 2008	Rok 2010	Rok 2011	Rok 2012/13
$2.17 \times 10^{-14}$	$1.93 \times 10^{-13}$	$3.96 \times 10^{-15}$	$5.08 \times 10^{-14}$	$6.37 \times 10^{-12}$
Rok 2014	Rok 2015	Rok 2016	Rok 2017	Rok 2018
$3.18 \times 10^{-12}$	$3.056 \times 10^{-10}$	$6.347 \times 10^{-11}$	$4.966 \times 10^{-11}$	$1.587 \times 10^{-11}$

Tabulka 1: Technické riziko v období 2006 - 2018

Z uvedených výše informací se dá konstatovat, že se RVSM provoz ve státech blízkého východu zvětšuje a technické riziko se drží pod hladinou TLS ICAO.

Pro objektivní statistiku jsou dále uvedeny údaje o provozu v RVSM prostoru z jiného světového regionu. V Kanadě během pandemie Covid-19 v roce 2020 bylo 2 640 letů v RVSM prostoru denně (v průměru v období měření 24 dnů). Celková očekávaná hodnota letových minut za celý rok činí 105 771 901. V roce 2021 tato hodnota byla větší – 127 666 224. Je důležité uvést, že v těchto letech provoz byl celosvětově pod úrovní provozu před pandemií Covid-19 a v následujících letech tato čísla budou jenom růst [7].

	2021 (Jih)	2020 (Jih)	2021 (Sever)	2020 (Sever)
Počet letů (24-hodinový vzorek)	54,518	47,992	18,596	15,367
Letové hodiny (24-hodinový vzorek)	90,309	75,540	49,598	40,056
Odhadované roční letové minuty	82,407,201	69,119,789	45,259,023	36,652,112

Tabulka 2: Statistika RVSM provozu v Kanadě 2020-2021

Hodnoty technického a celkového rizika v Kanadě za rok 2021 jsou ještě menší než na Blízkém východě a drží se daleko pod cílovou hladinou ICAO [7].



	Jih			Sever		
	Technické riziko	Provozní riziko	Celkové riziko	Technické riziko	Provozní riziko	Celkové riziko
Cíl	$2.5 \times 10^{-9}$	$2.5 \times 10^{-9}$	$5.0 \times 10^{-9}$	$2.5 \times 10^{-9}$	$2.5 \times 10^{-9}$	$5.0 \times 10^{-9}$
2021	$0.06 \times 10^{-9}$	$0.09 \times 10^{-9}$	$0.15 \times 10^{-9}$	$0.55 \times 10^{-9}$	$0.01 \times 10^{-9}$	$0.56 \times 10^{-9}$
2020	$0.05 \times 10^{-9}$	$0.11 \times 10^{-9}$	$0.16 \times 10^{-9}$	$0.41 \times 10^{-9}$	$0.01 \times 10^{-9}$	$0.42 \times 10^{-9}$
Změna	$0.01 \times 10^{-9}$	$-0.02 \times 10^{-9}$	$-0.01 \times 10^{-9}$	$0.14 \times 10^{-9}$	Beze změny	$0.14 \times 10^{-9}$

Tabulka 3: Hladina rizika v Kanadě v roce 2021

Tímto můžeme potvrdit, že současný provoz v RVSM prostoru je bezpečný a splňuje kritéria ICAO.

Pro zjištění využitelnosti horních hladin současného RVSM prostoru a hladin nad FL410 byla provedena následující analýza. V období od 02.11.2021 do 21.11.2021 byla sbíraná data vybraných dálkových linek s cílem zjistit, jaké letové hladiny používají letadla při takových letech. Pomocí nástroje Flightradar 24 bylo stanoveno, že v drtivé většině případů letadlo využilo maximální hladinu současného RVSM prostoru. Dostup všech letadel, vybraných pro tuhle statistiku je ale větší než hladina FL410. Dá se předpokládat, že letadla nevyužily svých optimálních letových hladin.

V tabulce č.2 jsou představené lety na trase z Los Angeles (LAX) do Aucklandu (AKL). Společnost Air New Zealand provozuje tuto linku s Boeingem 787-9, který má dostup FL430. Největší hladinou ale byla jen FL420, a to ve dvou případech z 12. Ve většině případů letadlo dostoupalo do hladiny 400, což je současným horním limitem RVSM prostoru při letech na západ.

Číslo letu	Trat'	Letadlo	Datum	Max. hladina
NZ1003	LAX-AKL	Boeing 787-9	03.11.2021	400
NZ25	LAX-AKL	Boeing 787-9	03.11.2021	390
NZ1003	LAX-AKL	Boeing 787-9	04.11.2021	400
NZ1005	LAX-AKL	Boeing 787-9	04.11.2021	420



NZ1003	LAX-AKL	Boeing 787-9	05.11.2021	400
NZ25	LAX-AKL	Boeing 787-9	05.11.2021	400
NZ1005	LAX-AKL	Boeing 787-9	06.11.2021	400
NZ25	LAX-AKL	Boeing 787-9	07.11.2021	390
NZ1003	LAX-AKL	Boeing 787-9	08.11.2021	400
NZ1005	LAX-AKL	Boeing 787-9	08.11.2021	410
NZ1003	LAX-AKL	Boeing 787-9	09.11.2021	400
NZ1005	LAX-AKL	Boeing 787-9	09.11.2021	420

Tabulka 4: Linka LAX-AKL

Na zpáteční lince z Aucklandu (AKL) do Los Angeles (LAX) letadlo vždy zůstalo v rámci hranic současného RVSM prostoru. Maximální hladinou byla FL410.

Číslo letu	Trat'	Letadlo	Datum	Max. hladina
NZ6	AKL-LAX	Boeing 787-9	03.11.2021	390
NZ1006	AKL-LAX	Boeing 787-9	04.11.2021	410
NZ6	AKL-LAX	Boeing 787-9	05.11.2021	410
NZ1006	AKL-LAX	Boeing 787-9	06.11.2021	410
NZ1006	AKL-LAX	Boeing 787-9	07.11.2021	410
NZ6	AKL-LAX	Boeing 787-9	08.11.2021	390
NZ1006	AKL-LAX	Boeing 787-9	09.11.2021	410

Tabulka 5: Linka AKL-LAX

Další podobnou linkou je trasa z Los Angeles (LAX) do Sydney (SYD). Americká společnost Delta Airlines provozuje tuto linku s letounem Airbus A350-900, který má provozní dostup FL430. Linka je východním směrem, proto by se dalo použít letovou hladinu 430. Na všech letech kromě jednoho byla ale použita hladina 410. V jednom případě letadlo využilo hladinu 420. Stalo se tak na úseku bez význačného provozu a pravděpodobně při zvláštním schválení





od řídicích letového provozu. Kvůli tomu byla tato oblast vybraná, protože je jediná, kde se dalo očekávat, že by letadlo mohlo takové povolení získat, a to se potvrdilo.

Číslo letu	Trat'	Letadlo	Datum	Max. hladina
DL41	LAX-SYD	A359	05.11.2021	410
DL41	LAX-SYD	A359	06.11.2021	420
DL41	LAX-SYD	A359	07.11.2021	410
DL41	LAX-SYD	A359	08.11.2021	410
DL41	LAX-SYD	A359	09.11.2021	410
DL41	LAX-SYD	A359	10.11.2021	410
DL41	LAX-SYD	A359	11.11.2021	410

*Tabulka 6: Linka LAX-SYD*

Při letech nazpět do Los Angeles (LAX) v 6 případech z 8 letadlo letělo ve hladině 410, jednou využilo nestandardní hladinu 400 (pro tratě na východ se používají liché hladiny) a jednou byla použita hladina maximálního provozního dostupu – FL430.

Číslo letu	Trat'	Letadlo	Datum	Max. hladina
DL40	SYD-LAX	A359	06.11.2021	410
DL40	SYD-LAX	A359	07.11.2021	410
DL40	SYD-LAX	A359	08.11.2021	410
DL40	SYD-LAX	A359	09.11.2021	410
DL40	SYD-LAX	A359	10.11.2021	410
DL40	SYD-LAX	A359	11.11.2021	410
DL40	SYD-LAX	A359	12.11.2021	400
DL40	SYD-LAX	A359	11.11.2021	430

*Tabulka 7: Linka SYD-LAX*



## 1.4 Výškoměry

Výškoměr je zařízení, určené k měření výšky letadla nad referenční hladinou. Nejrozšířenějším provedením je barometrický výškoměr. Existují ale i jiné druhy, například rádio výškoměr a optický výškoměr. Pro stanovení výšky se také používá i GNSS.

Výškoměr měří vertikální vzdálenost od konkrétní „nulové“ hodnoty. Nejčastější „nulovou“ hodnotou je střední hladina moře (MSL). V tomto případě hovoříme o výšce nad střední hladinou moře (Altitude). Další možností je stanovení výšky nad zemí (Height). V neposlední řadě se bavíme o výšce jako o letové hladině, a to nad konkrétní výškou, která se stanovuje pro každé letiště zvlášť.

Barometrický výškoměr je základním funguje na základě měření statického tlaku a porovnání ho s konstantním tlakem. Změna tlaku indikuje změnu výšky. Používají se jednoduché, citlivé barometrické výškoměry a výškoměry se servopohonem.

Statický tlak v jednoduchém výškoměru je do skříně přístroje přiváděn ze statického zdroje. S rostoucí výškou statický tlak klesá a pouzdro se pod vlivem listové pružiny rozpíná. Mechanické spojení zvětšuje rozpínání kapsle a převádí je na rotační pohyb jednoho ukazatele nad výškovou stupnicí. Vazba obsahuje zařízení pro kompenzaci teploty, které minimalizuje chyby způsobené rozpínáním a smršťováním vazby a změnami napětí pružiny v důsledku kolísání teploty mechanismu [8].

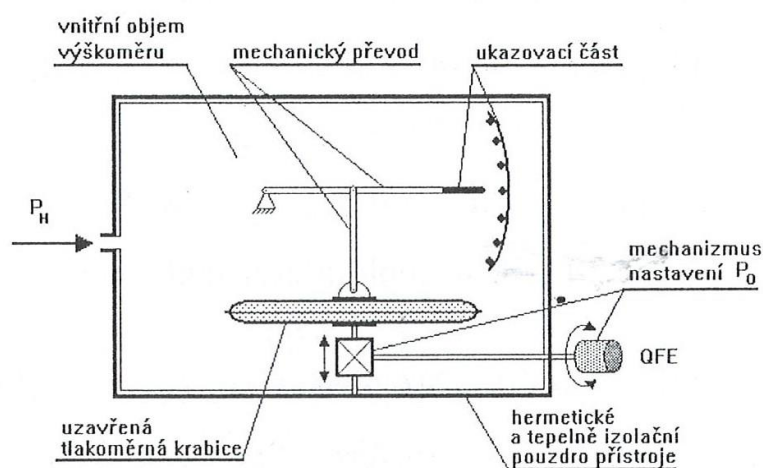
Princip fungování citlivého výškoměru je podobný jako u jednoduchého výškoměru, ale jsou zde následující vylepšení:

- Soustava dvou nebo tří kapslí zajišťuje větší pohyb potřebný k pohonu tří ukazatelů. Ty mají převod 100:10:1, přičemž nejmenší ukazuje 100 000 stop na otáčku, další 10 000 stop na otáčku a největší 1 000 stop na otáčku.
- Jsou namontována šperková ložiska, která snižují tření a s ním spojené zpoždění indikace.
- Je v nich zabudován proměnný referenční mechanismus. Ten s pomocí nastavovacího knoflíku umožňuje přístroj nastavit tak, aby ukazoval výšku nad libovolnou požadovanou tlakovou základnou.

Proměnný vztažný mechanismus se používá takto:

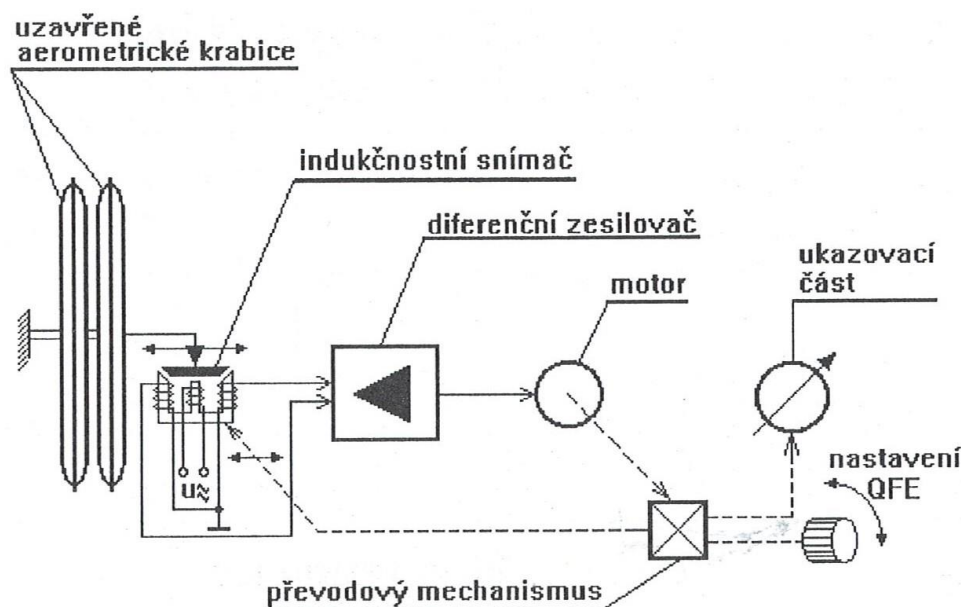
Pilot otáčí knoflíkem tak dlouho, dokud se na ukazateli tlaku neobjeví požadovaná úroveň tlaku (např. 1005 hPa) na čelní straně přístroje. Při otáčení knoflíku se ukazatele výšky otáčejí, dokud se po dokončení postupu s pomocí výškoměr ukazuje výšku letadla nad touto hodnotou,

a když se na stupnici objeví požadovaných 1005, výškoměr ukazuje výšku letadla nad touto tlakovou hladinou. Pokud by například letištní tlaková hladina byla 1005 hPa, výškoměr by ukazoval výšku nad letišťem. Nastavení dílčí stupnice se mění pouze tehdy, když pilot otáčí knoflíkem. Změna nadmořské výšky nebo přízemního tlaku nemá přímý vliv na údaj na stupnici. Když pilot mění nastavení dílčí stupnice, ukazatele výškoměru se pohybují, ale konstrukce mechanismu je taková, že opačně to neplatí (například během stoupaní se ukazatele otáčejí, ale nastavení dílčí stupnice zůstává nezměněno) [8].



Obrázek 3: Schéma výškoměru [25]

Barometrické výškoměry se servopohonem jsou nejpresnější druhem barometrických výškoměru. Servopohon nejen poskytuje výškoměru větší provozní rozsah, ale také zlepšuje přesnost přístroje, zejména ve vysokých hladinách. Ve velkých výškách je změna tlaku odpovídající dané změně výšky mnohem menší než v malé výšce. To znamená, že při dané změně výšky je pohyb kapsle ve velké výšce relativně malý a třecí odpor ve spojení výškoměru bez asistence způsobuje odpovídajícím způsobem větší chyby a větší zpoždění. Se servopohonem je k dispozici potřebný výkon k překonání třecího odporu s následným zvýšením přesnosti přístroje. Princip servopohonu výškoměru spočívá v tom, že malé pohyby kapslí jsou detekovány velmi citlivým elektromagnetickým snímačem. Ten vytváří elektrický proud, který je zesílen a použit k pohonu motoru, který otáčí čítači a ukazatelem [8].



Obrázek 4: Schéma servovýškoměru [25]

#### 1.4.1 Chyby barometrického výškoměru

- Časové zpoždění

U mnoha typů výškoměrů není reakce na změnu výšky okamžitá. To způsobuje výškoměr při stoupání udává nižší hodnoty a při klesání vyšší hodnoty. Zpoždění je nejvíce patrné, když je změna výšky rychlá a delší. Při laboratorní kalibraci citlivých výškoměrů by zpoždění mezi rostoucími a klesajícími hodnotami nemělo přesáhnout 150 stop. U výškoměrů se servopohonem se říká, že zpoždění není významné, pokud se vertikální rychlost nepřekročí 10 000 stop za minutu. Je to proto, že servo-výškoměr neovlivňuje tření táhla, které způsobuje mnohem větší chybu citlivého výškoměru.

- Chyba přístroje

Výrobní nedokonalosti, včetně tření v táhlech, způsobují chyby v celém pracovním rozsahu. Chyby se udržují na co nejmenší úrovni pomocí nastavení uvnitř přístroje a kalibrační postupy zajišťují, že jsou v rámci povolených tolerancí. Zbytkové chyby mohou být uvedeny na korekční kartě. Poznámka: U citlivého výškoměru se chyba zvyšuje s nadmořskou výškou, což také vysvětluje, proč je pokles přesnosti s nadmořskou výškou u servo-výškoměru méně závažný.

- Chyba polohy (tlaková chyba)



Tato chyba je z velké části způsobena neschopností snímat skutečný statický tlak vně letadla. Chyba je obvykle malá, ale zvyšuje se při vysokých Machových rychlostech (a následně ve velkých výškách, které jsou obvykle spojeny s vysokými Machovými čísly).

Přesnost výškoměrů řízených aerometrickou centrálou (ADC) může být zvýšena díky tomu, že ADC automaticky koriguje svůj statický výstupní signál o chybu polohy.

- Chyba způsobená manévrem

Je způsobena přechodným kolísáním tlaku na statickém ventilu při změně zejména náklonu a zpožděním přenosu změn tlaku v důsledku viskózních a akustických účinků ve statickém potrubí.

- Barometrická chyba

Za předpokladu, že výškoměr má tlakovou dílčí stupnici a je na ní nastaveno místní QNH, výškoměr bude ukazovat výšku AMSL (i když stále podléhá ostatním chybám). Pokud je místní přízemní tlak se od nastavení hodnoty QNH změnil, vznikne "barometrická" chyba zhruba 30 stop na milibar. Pokud tlak klesne, bude výškoměr ukazovat vyšší hodnotu [8].

Přípustné hodnoty přístrojových chyb (tolerance) jsou uvedeny na obrázku č. 5.

Typický jednoduchý výškomer (rozsah do 35 000 stop / 10 668 m)				
Výška (ft / m)	0	35 000 10 668		
Tolerance (ft / m)	±100 ±30,5	±1 000 ±305		

Typický citlivý výškomer (rozsah do 80 000 ft / 24 384 m)			
Výška (ft / m)	0	40 000 12 192	80 000 24 384
Tolerance (ft / m)	±70 ±21,3	±600 ±183	±1 500 ±457

Typický servovýškomer (rozsah do 100 000 ft / 30 480 m)				
Výška (ft / m)	0	40 000 12 192	60 000 18 288	100 000 30 480
Tolerance (ft / m)	±30 ±9,1	±100 ±30,5	±300 ±91,5	±4 000 ±12 192

Obrázek 5: Tolerance přístrojových chyb barometrických výškoměrů [25]

### 1.5 Aerometrická centrála (ADC)

V moderních letadlech se namísto konvenčních přístrojů pro zobrazení rychlosti, výšky, vertikální rychlosti a Machova čísla, používají aerometrické centrály. Tyto centrály přijímají údaje z Pitot-statického systému a převádějí je do digitální podoby. Posádka tak má veškeré informace o letu na jednom místě a výstupní údaje jsou přesnější než u klasických přístrojů. Existují dva druhy aerometrických centrál: analogové a digitální.

Analogový typ používá k vyhodnocení a reprezentaci získaných měření spojitě fyzikální veličiny, jako je napětí nebo tlak. Analogová aerometrická centrála může být interně rozdělena na následující moduly pro vyhodnocení a další přenos dat získaných pomocí zařízení pro sběr teploty, statického a celkového tlaku, nadmořské výšky, kalibrované rychlosti, Machova čísla, pravé vzdušné rychlosti a použití dat z modulu nadmořské výšky prostřednictvím modulu rychlosti stoupání poskytne vertikální rychlost. Vztahy mezi TAS, Machovým číslem, teplotou, dynamickým a statickým tlakem lze vyjádřit jako matematické vzorce. ADC tyto vzorce průběžně řeší, aby ze vstupů tlaku a teploty vytvořil požadované výstupy ve formě otáček hřídele nebo elektrických signálů [8].



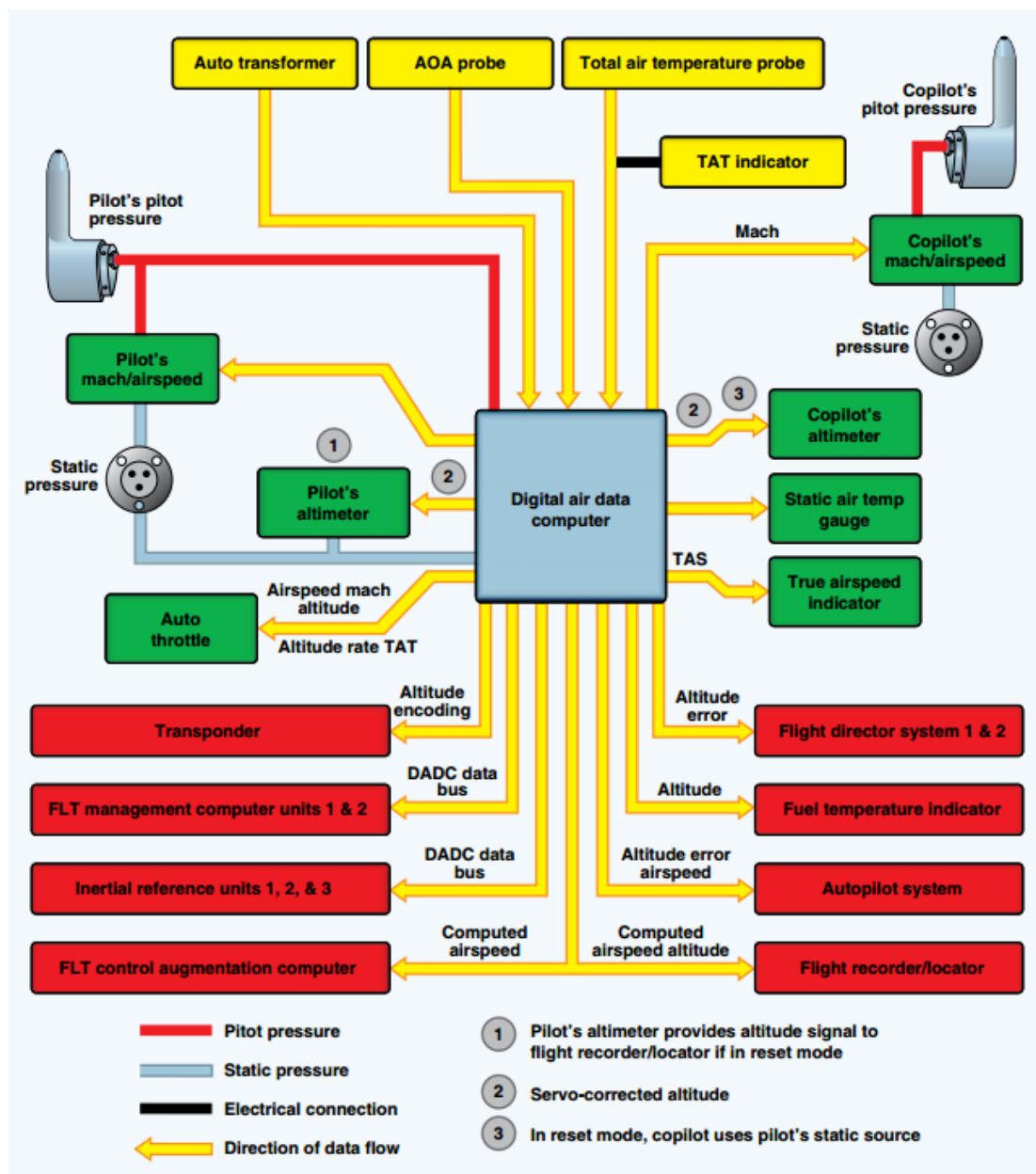
Digitální systém používá při vyhodnocování a přenosu informací digitální data (binární data). Analogově-digitální převodníky na vstupní straně ADC využívají měření tlaku, teploty a úhlu náběhu a mění je z analogové formy na digitální pro použití v ADC a další přenos do pilotní kabiny [8].

Pro případ zablokování a/nebo poruchy ADC jsou k dispozici přepínací kohouty, které umožňují připojení alternativního statického zdroje k počítači, nebo elektrické přepínání, které umožňuje napájení kapitánova přístroje z ADC prvního důstojníka a naopak [8].

V některých letadlech je systém aerometrických centrál navržen tak, že výstupy z každé centrály nejsou vedeny výhradně k přístrojům na jedné straně panelu. Smícháním zdrojů leteckých dat pro každou stranu se snižuje možnost nezjištěné poruchy. V případě úplného selhání obou ADC, třeba v důsledku ztráty napájení, lze v letu pokračovat s odkazem na záložní přístroje [8].

V porovnání s konvekčními přístroji, výhody ADC jsou následující: Vylepšené displeje, snížení chyb přístrojů a zpoždění, korekce chyb, centrální zdroj pro ostatní systémy, čistý design, varování před poruchou.

V jednodušších letadlech včetně vrtulníků mohou být aerometrické centrály, které jsou v systému obvykle dva a jsou menší, lehčí a jednodušší než ADIRU, nazývány Air Data Units, ačkoli jejich vnitřní výpočetní výkon je stále značný. Běžně mají vstupy pro pitotovu trubici a statický tlak, jakož i teplotu vnějšího vzduchu (OAT) z platinového odporového teploměru a mohou řídit ohřev pitotovy trubice a statického ventilu, aby se zabránilo ucpání v důsledku námrazy. Stejně jako u jednodušších letadel bez systému fly by wire jsou výstupy obvykle do výškoměrů v pilotní kabině nebo do systému zobrazení, do zapisovače letových údajů a do systému autopilota. Výstupní rozhraní jsou obvykle ARINC 429, Gillham nebo dokonce IEEE1394 (Firewire). Poskytované údaje mohou být: pravá vzdušná rychlost, tlaková výška, hustotní výška a okolní teplota vzduchu, ale bez ohledu na polohu nebo kurz letadla, protože v ADC nejsou namontovány gyroskopy nebo akcelerometry. Tato zařízení jsou obvykle autonomní a nevyžadují vstup pilota, pouze posílají průběžně aktualizované údaje do přijímacích systémů. Některé z nich, jako například vylepšená softwarově konfigurovatelná jednotka pro zpracování leteckých dat (ESCADU), jsou softwarově konfigurovatelné, aby vyhovovaly mnoha různým leteckým úkolům [15].



Obrázek 6: Diagram ADC [9]

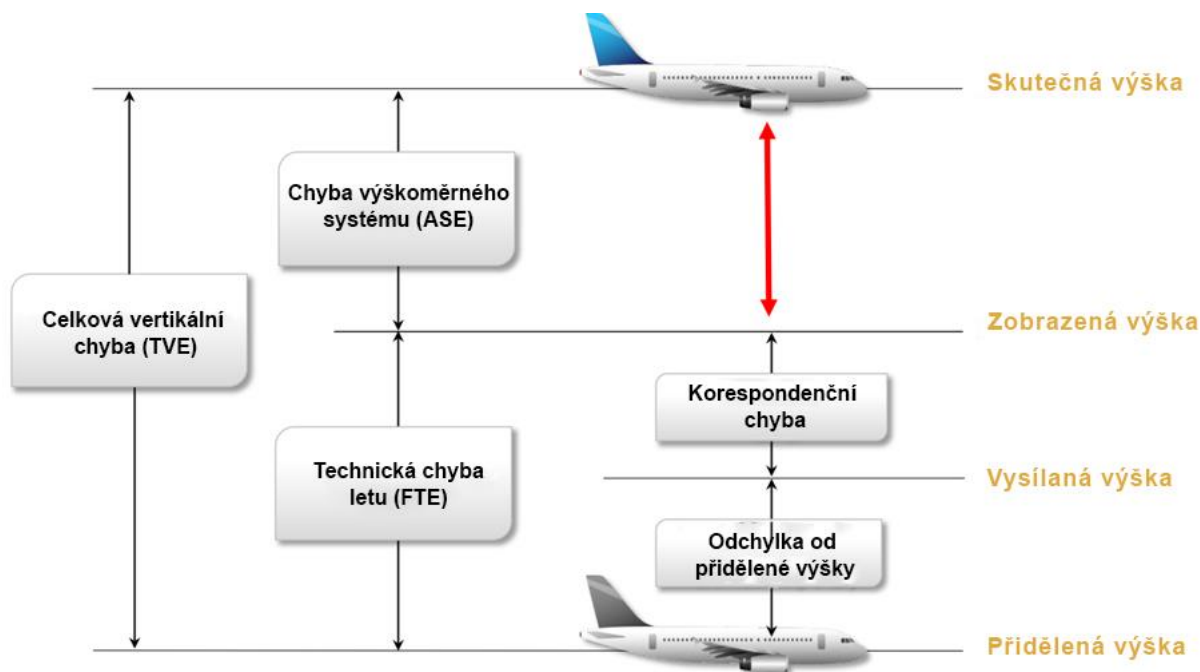
## 1.6 Chyba výškoměrného systému (ASE)

Po zavedení RVSM prostoru, jak již bylo uvedeno výše, je nezbytné monitorovat odchylky letounů od přidělených hladin. Díky monitorování pomocí HMU (Height Monitoring Unit) příslušná regionální monitorovací agentura může stanovit chybu výškoměrného systému (Altimetry System Error).



Chyba výškoměrného systému (ASE) - Rozdíl mezi nadmořskou výškou zobrazenou na displeji výškoměru za předpokladu správného barometrického nastavení výškoměru a tlakovou výškou odpovídající nerušenému okolnímu tlaku [2].

Chyba ASE spolu s technickou chybou tvoří Celkovou vertikální chybu:



Obrázek 7: Celková vertikální chyba [10]

Před vývojem systémů monitorování výšky nebylo možné měřit ASE velkých počtů letadel. Předpokládalo se, že ASE letadla je v průběhu času stabilní a že velké chyby lze jasně identifikovat pravidelnými kontrolami a inspekcemi údržby.

Z důkazů, které dosud shromáždila Evropská regionální monitorovací agentura (EUR RMA), vyplývá, že tyto předpoklady nejsou vždy správné.

V roce 2017 v Paříži se uskutečnila 59. schůzka Evropské letecké plánovací skupiny, na které byla taky rozebrána statistika využití RVSM prostoru RMA EUR a RMA EURASIA.

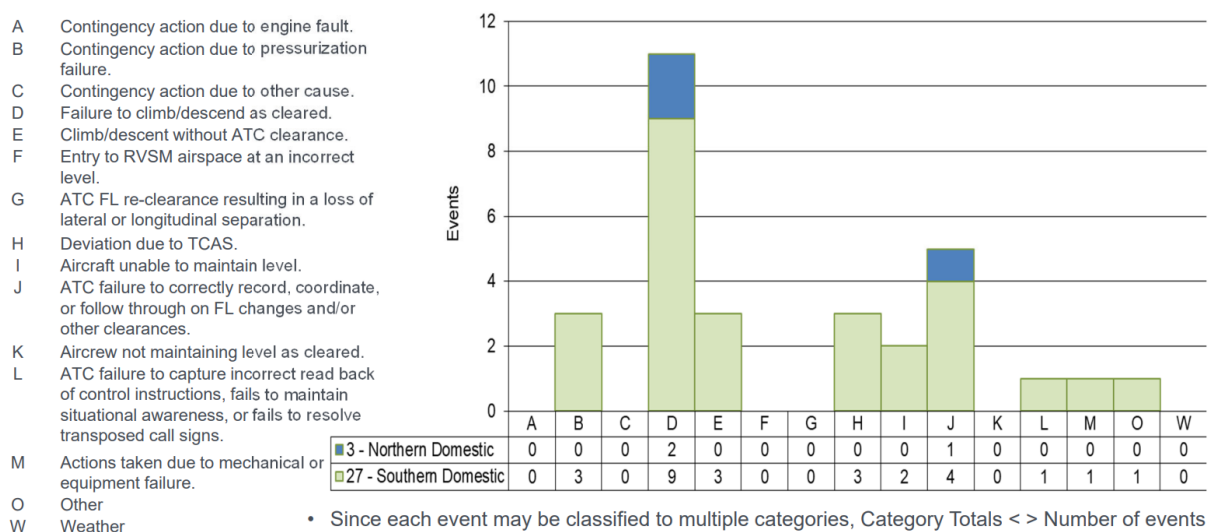
Zasedání vzalo na vědomí, že výsledky monitorování bezpečnostních cílů 1 a 2 týkajících se technických a celkových rizik za rok 2016 splnily cílovou úroveň bezpečnosti pro technická rizika, resp. cílovou úroveň bezpečnosti. Shromážděné údaje a zpracované za leden až září 2017 agenturami RMA EUR a RMA EURASIA naznačily, že existuje důvod se domnívat, že technické a provozní riziko v roce 2017 rovněž splní cílové hodnoty [11].



Pokud jde o bezpečnostní cíl 3, který vyžaduje, aby nepřetržitý provoz EUR RVSM neměl nepříznivý vliv na celkové riziko srážky na trati ve středu dráhy, počet jednotlivých letadel vyšetřovaných z důvodu nevyhovujících nebo odchylných charakteristik ASE v roce 2016 činil 10 a 20 během prvních devíti měsíců roku 2017. Největší velikost ASE zjištěná v tomto období byla 1 000 ft. Další letadlo vykazovalo ASE o velikosti +500 ft. Třetí letadlo bylo monitorováno s ASE -500 ft. Počet letů potvrzených letadly bez schválení EUR zůstává nízký a činí přibližně 1 %. Bylo však vyjádřeno znepokojení nad tím, že řada hlášených neschválených letadel pokračuje v provozu bez jakýchkoli nápravných opatření ze strany státu odpovědného za schválení nebo státu, v jehož vzdušném prostoru byla tato letadla provozována [11].

RMA EURASIA sdělila, že analýza příčin velkých odchylek byla prováděna průběžně. V průběhu analýzy zaslalo RMA EURASIA celkem 41 dotazů týkajících se příčin výskytu velkých odchylek. Analýza ukázala, že 47 % velkých odchylek bylo způsobeno chybami posádky, 28 % chybami v interakci pilot-řídící a 12 % vlivem turbulence [11].

V září roku 2022 poskytovatel leteckých navigačních služeb v Kanadě NavCanada vydal statistiku provozu v RVSM prostoru za rok 2021. Jak vyplývá z představené statistiky (Graf č. ) v roce 2021 na vnitrostátních linkách v Kanadě došlo k 30 velkým odchylkám od stanovené výšky. Největší příčinou byla neschopnost posádky letadla provést stoupání nebo klesání, jak jí bylo povoleno. Další příčinou byla chyba řízení letového provozu při koordinaci změn letových hladin.



Graf 3: Vertikální odchylky v RVSM Kanady v roce 2021 [7]

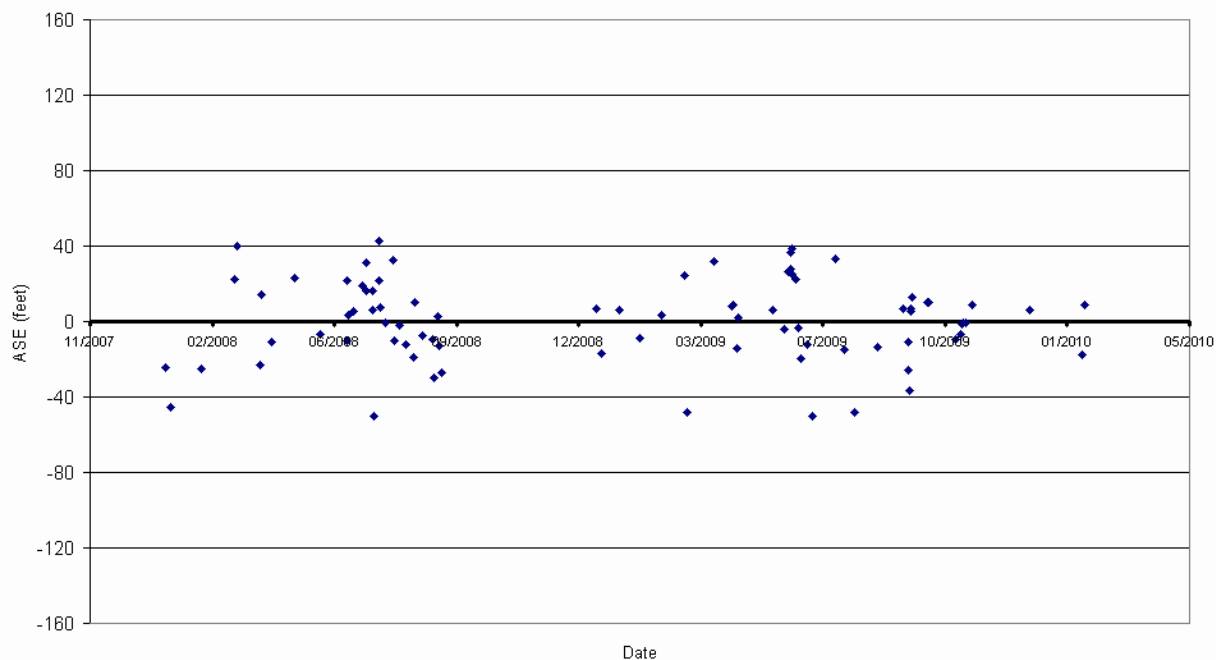


Můžeme konstatovat, že nejčastější příčinou ztráty rozestupů je lidská chyba. Technická chyba v RVSM prostoru kvůli zavádám statického systému je nejběžnější příčinou.

Jedním z původních předpokladů o chybě výškoměrného systému bylo, že je stabilní v čase, tj. že charakteristiky ASE letadla budou konstantní. Po potvrzení shody s mezinárodními normami by nemělo být nutné ASE znovu vyhodnocovat za předpokladu, že konfigurace letadla zůstane stejná. Teprve od vývoje praktických systémů monitorování výšky se ukázal skutečný obraz a důkazy naznačují, že skutečnost se může v některých případech výrazně lišit od teorie [12].

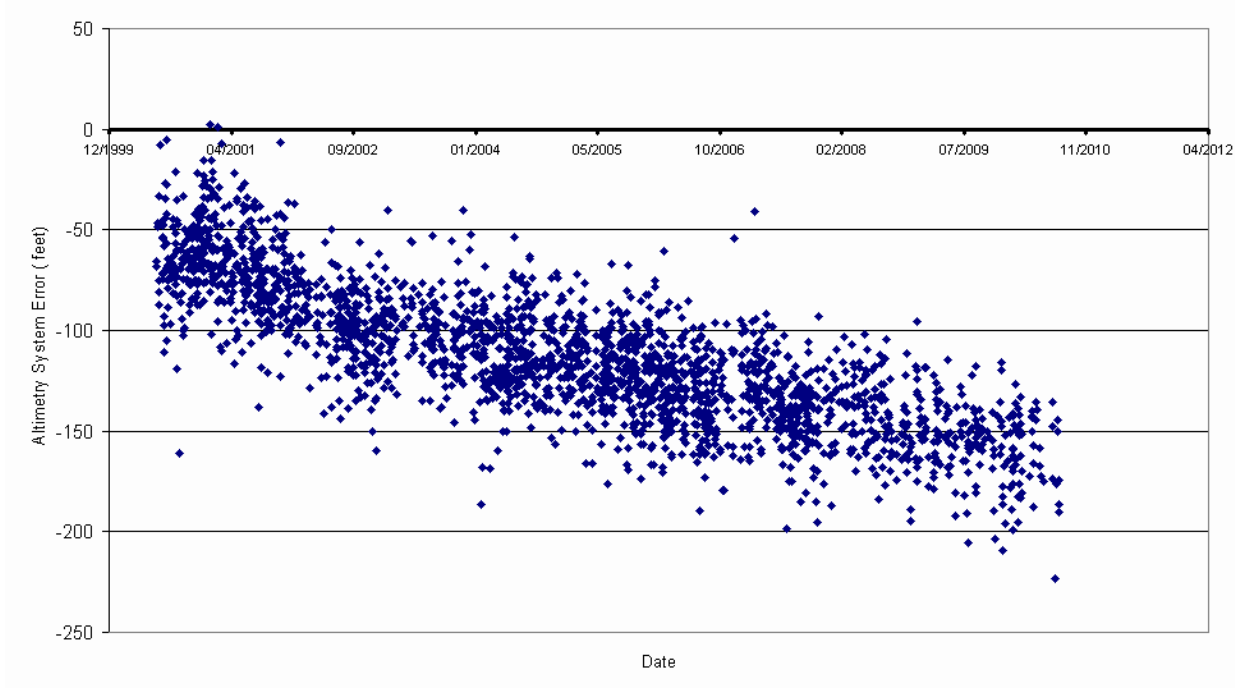
Konstrukce a pečlivé rozmístění jednotlivých systémů HMU umožnily RMA vytvořit profil ASE v průběhu času pro mnoho stovek letadel. Vyhodnocení mnoha z těchto profilů ukázalo, že řada letadel nevykazovala konstantní charakteristiky ASE, ale lineární driftování. Další šetření ukázala, že tento drift nebyl vždy izolován na jednotlivé letouny, ale byl pozorován jako charakteristika typu letadla. Další často pozorovanou překvapivou charakteristikou bylo bimodální rozdělení mezi 2 samostatné výškoměrové systémy na palubě některých letadel. Rozdělení výkonu ASE o více než 100 ft mezi systémy pilota a druhého pilota nebylo neobvyklé [12].

Graf č. 4 znázorňuje profil ASE letadla, který má nízkou hodnotu ASE a je také stabilní v čase. Nulová hodnota na svislé ose představuje nulovou hodnotu ASE, takže poloha jednotlivých výsledků nad nebo pod touto hodnotou (jak ukazují grafické body) představuje velikost ASE pro toto letadlo (mezi +40 a -50 stopami).



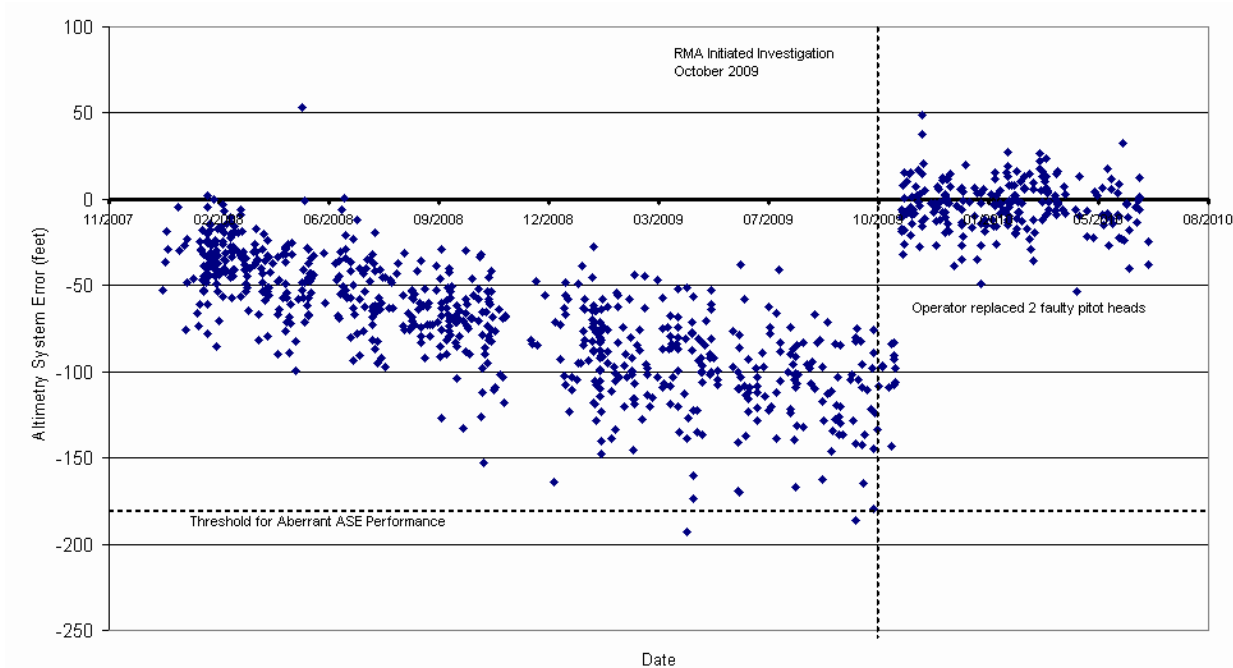
*Graf 4: Dobrý profil ASE [12]*

Naproti tomu další příklad křivky ASE ukazuje dlouhodobou křivku ASE pro jednotlivé letadlo, u kterého nebylo při plánovaných kontrolách zjištěno zhoršování ASE.



*Graf 5: Profil ASE se zhoršením v čase [12]*

Níže uvedený graf č. ukazuje křivku ASE pro jednotlivý letoun, která ukazuje nárůst ASE z přibližně -50 stop na více než -150 stop za 1 rok. Svislá čára znázorňuje, kdy se toto letadlo dostalo do pozornosti EUR RMA a kdy bylo přijato opatření. Zlepšení výkonnosti poté, co provozovatel vyměnil vadné Pitotovy trubice, je jasně patrné.



Graf 6: Detekce zhoršeného ASE [12]

V letech, která uplynula od zavedení systému RVSM, agentura RMA informovala o mnoha vyšetřováních ASE a pomáhala při jejich řešení. Jen v letech 2008 až 2010 měla agentura RMA důvod vyšetřit 157 jednotlivých draků letadel kvůli nevyhovující nebo odchylné výkonnosti ASE a také 12 obecných vyšetřování typů letadel. Mezi nejčastější příčiny ASE k dnešnímu dni patří:

- poškození statických portů a Pitotových trubic
- úniky tlaku v pitotových/statických trubkách
- Počítače leteckých dat jsou mimo toleranci
- špatná povrchová úprava nátěru v místech citlivých statických portů
- Nevhodnost kontrolních postupů RVSM
- Životnost dílů letadel
- Neoptimalizované korekce chyb statických zdrojů
- Kolísání tlaku způsobené účinky zvlnění povrchu. [12]



### 1.7 Požadavky na barometrický výškoměr v prostoru RVSM

Z důvodu zvláštního řízení rizik pro zachování cílové bezpečnostní hladiny (TSL), na současné statické systémy letadel jsou kladeny speciální požadavky pro let v prostoru RVSM.

Letadla používaná pro provoz ve vzdušném prostoru RVSM musí být vybavena:

- (a) dvěma nezávislými systémy měření výšky;
- (b) systémem varování o nadmořské výšce;
- (c) systémem automatického řízení výšky;
- (d) odpovídačem sekundárního přehledového radaru (SSR) se systémem hlášení nadmořské výšky, který lze připojit k systému měření nadmořské výšky používanému pro řízení nadmořské výšky [13].

Při vnější prohlídce letadla je třeba věnovat zvláštní pozornost stavu statických zdrojů a stavu potahu trupu v blízkosti každého statického zdroje a jakékoli jiné součásti, která ovlivňuje přesnost výškoměrného systému. Tuto kontrolu může provést kvalifikovaná a oprávněná osoba jiná než pilot (např. letový nebo pozemní inženýr) [13].

Před vzletem by měly být výškoměry letadla nastaveny na QNH (atmosférický tlak v námořní výšce) letiště a měly by zobrazovat známou nadmořskou výšku v mezích stanovených v provozních příručkách letadla. Oba primární výškoměry by měly rovněž souhlasit v mezích stanovených provozní příručkou letadla. Lze použít i alternativní postup s použitím QFE (atmosférický tlak ve výšce letiště/práh dráhy). Maximální hodnota přijatelných rozdílů výškoměrů pro tyto kontroly by neměla překročit 23 m (75 stop). Měly by být provedeny všechny požadované kontroly funkčnosti systémů ukazujících nadmořskou výšku [13].

Při vstupu do vzdušného prostoru RVSM by měla být normálně v provozu následující zařízení:

- dva primární systémy měření výšky. Musí být provedena křížová kontrola mezi primárními měřeními výškoměry. Minimálně dva z nich se musí shodovat v rozmezí  $\pm 60$  m ( $\pm 200$  ft). Nesplnění této podmínky bude vyžadovat, aby byl výškoměrný systém nahlášen jako vadný a oznámeno řízení letového provozu (ATC);
- jeden automatický systém kontroly výšky;
- jedno výškoměrné zařízení;



- fungující odpovídač [13].

Při změně hladiny by letadlo nemělo přesáhnout nebo nedosáhnout povolené letové hladiny o více než 45 m (150 ft). Přechod do horizontálního letu by se měl provést pomocí funkce zachycení výšky automatického systému řízení výšky, pokud je na letounu nainstalován [13].

V intervalech přibližně 1 hodiny by se měly provádět křížové kontroly mezi primárními výškoměry. Minimálně dva z nich se musí shodovat v rozmezí  $\pm 60$  m ( $\pm 200$  stop). Nesplnění této podmínky bude vyžadovat, aby byl výškoměrný systém nahlášen jako vadný a oznámeno to ŘLP [13].

### **1.8 Požadavky na plánování paliva**

Základní požadavky na zásobu paliva jsou stanovené v ICAO Annexu 6 a CAT.OP.MPA.150 v Nařízení Komise (EU) č. 965/2012.

Provozovatel musí stanovit pravidla pro používání paliva pro účely plánování letů a plánování za letu, aby zajistil, že každý let bude mít na palubě dostatečné množství paliva pro plánovaný provoz a rezervy pro pokrytí odchylek od plánovaného provozu. Palivová politika a jakákoli její změna vyžadují předchozí schválení příslušným orgánem [21]

Letoun musí mít na palubě dostatečnou zásobu použitelného paliva umožňující bezpečné dokončení plánovaného letu a odchýlení se od plánovaného provozu. Minimální zásoba použitelného paliva, které má být na palubě, musí být založena na:

a) následujících údajích:

1) na aktuálních údajích konkrétního letounu získaných ze systému sledování spotřeby paliva, jsou-li dostupné; nebo

2) pokud nejsou aktuální údaje konkrétního letounu dostupné, na údajích poskytnutých výrobcem letounu; a

b) provozních podmínkách pro plánovaný let, včetně:

1) provozní hmotnosti letounu;

2) oznámení NOTAM;

3) posledních meteorologických hlášení nebo kombinací posledních zpráv a předpovědí;

4) postupů ATS, omezeních a předpokládaných zdržení; a





5) vlivů odložených úkolů údržby a/nebo povolených odchylek na draku [22].

Před letem provozovatel musí provést výpočet potřebného paliva na let. Tento výpočet musí zahrnovat:

1) palivo pro pojiždění. Tato složka odpovídá množství paliva, jehož spotřeba se očekává před vzletem s přihlédnutím k místním podmínkám na letišti odletu. Zahrnuje také množství, které se spotřebuje pomocnou energetickou jednotkou (APU);

2) traťové palivo, odpovídající množství paliva, které umožní letounu let od vzletu nebo bodu přeplánování za letu až po přistání na letišti určení. Do této složky musí být zohledněny provozní podmínky;

3) palivo pro nepředvídané okolnosti, odpovídající množství paliva potřebného ke kompenzaci nepředvídaných faktorů. Tato složka je určena jako reserva pro nepředvídané okolnosti, jakožto odchylka od trati z důvodů špatné navigace, odchylka od plánované trati z důvodů počasí apod. Musí zahrnovat 5 % plánovaného traťového paliva, jehož výpočet je založen na průměrné spotřebě použité při plánování traťového paliva, ale v každém případě nesmí být toto množství menší než množství potřebné pro let po dobu 5 minut vyčkávací rychlostí ve výšce 450 m (1 500 ft) nad letištem určení při standardních podmínkách;

4) palivo pro let na náhradní letiště určení, odpovídající množství paliva, které letounu umožní provést nezdařené přiblížení na letišti určení, stoupat do předpokládané cestovní hladiny, udržovat předpokládané směřování, klesat do bodu, v kterém bude zahájeno předpokládané přiblížení a provést přiblížení a přistání na náhradním letišti určení.

Pokud jsou požadována dvě náhradní letiště určení je potřeba takové množství paliva, které letounu umožní pokračovat na náhradní letiště určení, které vyžaduje větší množství paliva pro let na náhradní letiště. V případě, že je let prováděn bez zvoleného náhradního letiště určení, tato složka paliva musí obsahovat potřebné množství paliva, které letounu umožní let po dobu 15 minut vyčkávací rychlostí ve výšce 1 500 ft nad nadmořskou výškou letiště určení při standardních podmínkách. Pokud je letiště plánovaného přistání osamocené, složka paliva pro let na náhradní letiště musí zahrnovat množství paliva potřebné pro let po dobu 45 minut plus 15 % plánované doby letu v cestovní hladině, včetně konečné zálohy paliva, nebo 2 hodiny (podle toho, které množství je nižší) pro letouny s pístovým motorem a pro letouny s turbínovým motorem množství paliva potřebné pro let po dobu 2 hodin se spotřebou při normálním cestovním letu nad cílovým letištem, včetně konečné zálohy paliva.



5) konečnou zálohu paliva. Pro letouny s pístovým motorem tato složka zahrnuje množství paliva potřebné pro let po dobu 45 minut při rychlosti a v nadmořské výšce stanovené Státem provozovatele a pro letouny s turbínovým motorem množství paliva potřebné pro let po dobu 30 minut vyčkávací rychlostí ve výšce 1 500 ft nad nadmořskou výškou letiště při standardních podmínkách;

6) dodatečné palivo. Toto palivo se přidává v souladu s postupy konkrétní letecké společnosti nebo v souladu se specifickým druhem leteckého provozu.

7) palivo dle uvážení. Tato složka je předmětem rozhodnutí velitelé letadla [22]

30. října 2022 vstoupilo v platnost rozhodnutí EASA 2022/005/R, které upravuje postup volby paliva pro nepředvídané okolnosti.

Nová pravidla zavádějí tři různé palivové plány: základní palivový plán, palivový plán s odchylkami a individuální palivový plán. Přechod ze současných pravidel na základní palivový režim nevyžaduje z pohledu leteckého provozovatele příliš velké úsilí. Další dva plány jsou dobrovolné a jejich zavedení si vyžádá více zdrojů, protože vyžadují od leteckých společností rozšířené možnosti monitorování. Vnitrostátní orgány budou muset rovněž upravit svůj dohled, aby zajistily, že nebude ohrožena úroveň bezpečnosti [23].

Přesná snížení, která by byla přípustná pro jednotlivé operace, se liší podle trasy a použitého letadla. Z hlediska životního prostředí bude mít tento regulační balíček následující výhody:

- maximální snížení spotřeby paliva pro provozovatele z členských států EU na základě letů v roce 2015 činilo řádově 1 milion tun ročně. To by znamenalo potenciální odhadovanou roční úsporu 3 milionů tun CO<sub>2</sub> (na základě předpokladu, že 1 tuna paliva vyprodukuje 3 tuny CO<sub>2</sub>).

- odhad potenciální úspory ve výši 0,29 kg na minutu při letu na krátké vzdálenosti a 2,31 kg na minutu při letu na dlouhé vzdálenosti. Tato potenciální úspora by představovala přibližně 1 % emisí z evropských letů.

Úspory budou ve větší míře přínosem pro dálkové lety. Právě tyto lety produkují nejvíce emisí CO<sub>2</sub>. Podle údajů Eurocontrolu představují dálkové lety 6,2 % letů, ale vytvářejí 51,9 % emisí CO<sub>2</sub> [23].



## 1.9 Ceny leteckých pohonných hmot

Cena leteckého paliva bezprostředně ovlivňuje ekonomiku leteckého provozu. Snížení spotřeby paliva, a tudíž i nákladů na jeho pořízení je v zájmu leteckých dopravců. Existuje několik druhů paliva, která se používají v letecké dopravě. Letadla s proudovými motory používají letecký petrolej Jet A-1. Fluktuace cen na letecký petrolej ovlivňuje náklady dopravců na konkrétních linkách a je pro ně motivací pro co nejúspornější provoz své flotily. Jednou z možností ušetřit na spotřebě paliva je využití optimálních letových hladin. Jak vyplývá z obrázku níže, průměrná cen paliva Jet A1 ve světě je 144,45 amerických dolarů za barel, což je v přepočtu 0,9 amerických dolarů za litr.

14. Řijna 2022	Share in World Index	cts/gal	\$/bbl	\$/mt	Index Value 2000 - 100	vs. 1 week ago	vs. 1 month ago	vs. 1 yr ago
<b>Cena paliva Jet A-1</b>	100%	343.93	144.45	1140.72	394.87	-7.3%	18.8%	47.3%
Asia & Oceania	22%	305.43	128.28	1013.41	366.53	-1.9%	14.5%	33.8%
Europe & CIS	28%	342.39	143.81	1134.63	387.45	-4.5%	14.7%	46.4%
Middle East & Africa	7%	314.42	132.05	1042.66	394.36	-3.3%	16.3%	38.7%
North America	39%	369.27	155.09	1225.24	412.32	-12.1%	23.9%	55.9%
Latin & Central America	4%	371.40	155.99	1232.32	432.11	-4.3%	21.9%	55.8%

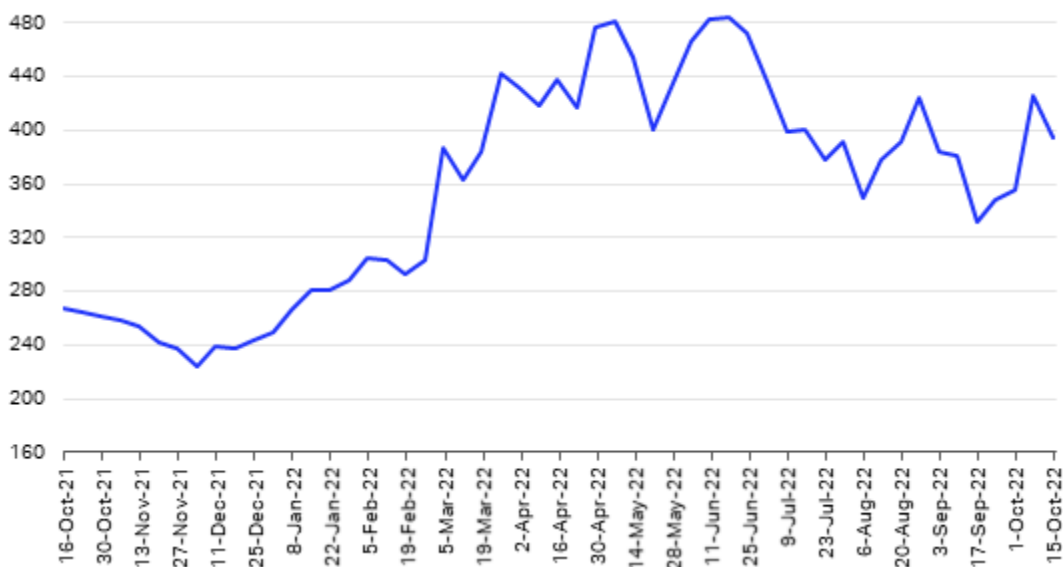
Tabulka 8: Ceny paliva JET A1 pro týden od 14.10.2022 [18]

Cena paliva Jet je úzce spjatá s aktuální cenou na ropu, jak je zobrazeno na grafu níže.



Graf 7: Korelace mezi cenou paliva Jet a cenou na ropu [18]

Za poslední rok je cena ropy, a tudíž i cena paliva Jet se zvětšila skoro o dvojnásobek. Tím pádem je pro leteckého provozovatele velice výhodné pečlivě analyzovat spotřebu a pokud možno ušetřit ještě více.



Graf 8: Změna ceny paliva Jet za poslední rok [18]



## 2. Metody

Aby se dalo stanovit, zda rozšíření RVSM prostoru má smysl či nikoliv, byly zvoleny následující dvě metody. První je analýza spotřeby letadel v různých letových hladinách na mezikontinentálních letech. Právě na delších letech je rozdíl ve spotřebě paliva větší na různých hladinách. Druhou metodou je potvrzení udržení přesnosti výškoměru ve hladinách nad FL410. Potvrzení bylo získáno během testů statického systému moderního letounu.

### 2.1 Analýza letových plánů

Pro stanovení rozdílů v spotřebě paliva a produkovaných emisí při využití vyšších letových hladin byl použit program SimBrief od společnosti Navigraph. Tento nástroj umožňuje plánování letů pro potřeby letových simulátorů s využitím reálných letových cest, parametrů letadel, aktuálních omezení a počasí. Tím pádem výstupní data z tohoto programu můžeme hodnotit jako spolehlivé.

Pro vyjádření maximální výšky letu letounů využíváme dva základní pojmy: absolutní dostup a provozní dostup.

- Absolutním dostupem je výška, ve které letadlo má nulovou vertikální rychlost se všemi pracujícími motory na maximálním trvalém výkonu.
- Provozním dostupem je výška, ve které letadlo má vertikální rychlost 300 ft/ min. Právě tento pojem nás zajímá z pohledu praktického využití při běžném provozu.

Z pohledu problematiky této práce je ale pro vyjádření maximální výšky letadla důležitý pojem Maximální provozní výška letounu. Maximální provozní výška se určuje na základě tří základních charakteristik, které jsou pro každý typ letadla jedinečné. Je to nejnižší z těchto hodnot:

- Maximální certifikovaná výška uvedená v Letové příručce letadla (obvykle se jedná o konstrukční výšku, která je nejčastěji definována limity tlakového zatížení na trupu letadla. Maximální provozní obálka letadlového celku však může stanovit nižší limity).
- Výška omezená tahem (Thrust Limited Altitude) při převažující provozní hmotnosti letadla a podmínkách prostředí - výška, ve které je k dispozici dostatečný tah pro zajištění určité minimální rychlosti stoupání (jedná se o obvyklý kontrolní limit zejména při zatáčení a dostupný tah může být velmi malý).
- Maximální výška omezená třepetáním při převažující provozní hmotnosti letadla a podmínkách prostředí - výška, ve které může dojít k zatížení 1,3 g v důsledku zatáčení,



manévrování nebo turbulence, aniž by se vyskytlo třepetání spojené s pádem při nízké rychlosti nebo s vysokorychlostním pádem [24].

70 procent současných širokotrupých letadel, které se požívají na dálkových letech, má maximální provozní výšku kolem 43 000 stop. Mezi taková letadla patří: B767, B777, B787-8, B747, A350-900, A380.

Pro zjištění rozdílů spotřeby paliva na konkrétním letu při využití různých letových hladin byly vybrány čtyři linky. Pro všechny úseky byly použité parametry základního modelu řady Boeingů 787: Boeing 787-8 s provozním dostupem 43 100 ft (FL431) v režimu dálkového letu LRC. Měření bylo provedeno za podmínek standardní atmosféry a bez vlivu větru. Kromě toho, nebyly brány v potaz aktuální NOTAMy. Tímto postupem bylo dosaženo snadno replikovatelných podmínek. Výstupní údaje z programu SImBrief byly ověřené porovnáním s letovou příručkou letounu, a to konkrétně s kapitolou B787-8 FCOM Performance in flight. Údaje z programu SimBrief přesně odpovídají skutečným výkonnostním parametrům letadla v režimu LRC.

Množství paliva na let bylo stanoveno podle pravidel, popsanych v podkapitole 1.9.

Shrnutí podmínek analýzy je představeno v tabulce č.9.

Letoun Boeing 787-8
Režim Long Range Cruise
Podmínky MSA
Stav s nulovým větrem
Bez omezení NOTAM

*Tabulka 9: Shrnutí podmínek analýzy*

Pro analýzu letových plánů byly vybrané dálkové linky z Londýna, Velká Británie do Darwinu, Austrálie a Kapského města, Jihoafrická republika. Podobné nebo totožné linky již existují. Například, australský dopravce Qantas provozuje každodenní linku z Londýna do Perthu. Do Kapského města se létá pravidelně British Airways a Virgin Atlantic. Obě tyto destinace obsluhuje Boeing 787, případně Boeing 777.

Podrobný přehled vybraných linek:

• 1. Linka:

- Londýn (letiště Heathrow, EGLL) – Darwin, Austrálie (YPDN)
- Nejbližší vhodné záložní letiště – Tindal (YPTN)
- Hmotnost letadla bez paliva (ZFW) 136 tun na úseku EGLL-YPDN
- Hmotnost cestujících, jejich zavazadel a nákladu celkem 14.8 tun (payload)
- Záložní palivo na 30 minut letu, palivo pro nepředvídané události na 20 minut.
- Porovnání letových hladin 410 a 430 s postupným stoupáním přes hladiny 350, 370 a 390.

Na obrázku č.8 je zobrazená trať a body postupného stoupání (červenou tečkou hladiny 350, 370, 390, 410 a žlutou – FL430).



Obrázek 8: Trať EGLL-YPDN



• 2. Linka:

- Darwin, Austrálie (YPDN) – Londýn (letiště Heathrow, EGLL)
- Nejbližší vhodné záložní letiště – Londýn Gatwick (EGKK)
- Hmotnost letadla bez paliva (ZFW) 138.3 tun
- Hmotnost cestujících, jejich zavazadel a nákladu celkem 17.1 tun (payload)
- Záložní palivo na 30 minut letu, palivo pro nepředvídané události na 20 minut.
- Porovnání letových hladin 400, 420 a 430 s postupným stoupáním přes hladiny 340, 360 a 380.

Na obrázku č.9 je zobrazená trať a body postupného stoupání (červenou tečkou hladiny 340, 360, 380, 400 a žlutou – FL420).



Obrázek 9: Trať YPDN-EGLL

• 3. Linka:

- Londýn (letiště Heathrow, EGLL) – Kapské město, Jihoafrická republika (FACT)
- Nejbližší vhodné záložní letiště – George (FAGG)
- Hmotnost letadla bez paliva (ZFW) 145 tun
- Hmotnost cestujících, jejich zavazadel a nákladu celkem 23.8 tun (payload)
- Záložní palivo na 30 minut letu, palivo pro nepředvídané události na 20 minut.
- Porovnání letových hladin 410 a 430 s postupným stoupáním přes hladiny 370 a 390.

Na obrázku č.10 je zobrazená trať a body postupného stoupání (červenou tečkou hladiny 370, 390, 410 a žlutou – FL430).



Obrázek 10: Trať EGLL-FACT

• 4. Linka:

- Kapské město, Jihoafrická republika (FACT) – Londýn (letišťe Heathrow, EGLL)
- Nejbližší vhodné záložní letiště – Londýn Gatwick (EGKK)
- Hmotnost letadla bez paliva (ZFW) 145 tun
- Hmotnost cestujících, jejich zavazadel a nákladu celkem 23.8 tun (payload)
- Záložní palivo na 30 minut letu, palivo pro nepředvídané události na 20 minut.
- Porovnání letových hladin 400 a 420 s postupným stoupáním přes hladiny 380 a 400.

Na obrázku č.11 je zobrazená trať a body postupného stoupání (červenou tečkou hladiny 380, 400 a žlutou – FL420).



Obrázek 11: Trať FACT-EGLL



Ve všech případech výškový profil byl naplánován tak, aby letadlo zůstávalo kolem svojí optimální hladiny po dobu celého letu.

Optimální letová hladina je taková, při níž dané nastavení tahu vede k odpovídající maximální doletové rychlosti. Optimální výška není konstantní a mění se v průběhu dlouhého letu podle toho, jak se mění atmosférické podmínky a hmotnost letadla. Velká změna teploty výrazně změní optimální výšku, přičemž pokles teploty odpovídá zvýšení výšky. V optimální nadmořské výšce budou provozní náklady minimální při letu s největší úsporou paliva. V obou případech se optimální nadmořská výška zvyšuje se snižováním hmotnosti letadla [14].

Pro letoun Boeing 787-8 optimální letová hladina má následující vztah ke hmotnosti letadla:

<u>Hmotnost letadla</u>	<u>Optimální letová hladina</u>
150 tun	FL430
160 tun	FL419
170 tun	FL406
180 tun	FL394
190 tun	FL383
200 tun	FL372
210 tun	FL362
220 tun	FL353

*Tabulka 10: Vztah mezi optimální hladinou a hmotností*

## 2.2 Měření přesnosti statického systému

Pro potvrzení schopností udržení požadované přesnosti výškoměrů and hladinou 410 bylo použito měření přesnosti statického systému Air Data Computer. Jedná se o výrobek, který je nainstalovaný na letadle Gulfstream G550. Tento výrobek splňuje kritéria pro RVSM prostor a může být také nainstalovaný na dopravních letadlech typu Boeing, Airbus nebo soukromých letadlech typu Gulfstream, Cessna Citation atd.

Měření proběhlo po opravě Air Data Modulu od společnosti Textron Aviation, který poskytuje digitální výstup snímaných tlaků. Lze jej použít v místech snímání celkového nebo jen statického tlaku. Dále údaje postupují do Air Data Computer.



Letecký datový počítač (ADC) je základní součástí avioniky v letadlech. Tento počítač dokáže namísto jednotlivých přístrojů určit kalibrované údaje o rychlosti letu, Machově čísle, nadmořské výšce a vertikální rychlosti z Pitot-statického systému letadla. V některých velmi rychlých letadlech se místo kalibrované rychlosti vypočítává ekvivalentní rychlost letu.

Počítače ADC mají obvykle také vstupní údaje o celkové teplotě vzduchu. Umožňuje to výpočet statické teploty vzduchu a pravé vzdušné rychlosti letu TAS.

V moderních letadlech je počítač leteckých dat často kombinován se zdroji nadmořské výšky, kurzu a navigace v jediné jednotce známé jako inerciální referenční jednotka leteckých dat (ADIRU). Ta byla nyní nahrazena globálním navigačním inerciálním referenčním systémem leteckých dat (GNADIRS) [15].

Měření výškoměrů a statických systémů probíhá na zemi buď po opravě anebo v plánovaných intervalech. Technický personál měří výstup v podobě výšky při nastavení různých tlakových hladin. Následně se určuje odchylka od požadované hodnoty a zda je v tolerovaném rozmezí. Příklad používané tabulky tolerancí na různých tlakových hladinách je v tabulce č.11



Výška (stopy)	Ekvivalentní tlak (hPa)	Tolerance +/- (stopy)
-1 000	1050.43	20
0	1013.25	20
500	995.13	20
1 000	977.22	20
1 500	959.57	25
2 000	942.17	30
3 000	908.17	30
4 000	875.15	35
6 000	812.02	40
8 000	752.66	60
10 000	696.85	80
12 000	644.42	90
14 000	595.25	100
16 000	549.16	110
18 000	506.02	120
20 000	465.65	130
22 000	427.92	140
25 000	376.04	155
30 000	300.89	180
35 000	238.45	205
40 000	187.55	230
45 000	147.48	255
50 000	115.99	280

*Tabulka 11: Tabulka tolerance přesnosti výškoměru [16]*

Měření, využitá v této práci, bylo provedeno pro rozsah výšek od -1000 stop do 51 000 stop.



### **3. Výsledky**

V této kapitole jsou představeny výsledky analýzy letových plánů a přesnosti výškoměrů. V rámci analýzy letových plánů je podstatný rozdíl plánovaného paliva na let. V závislosti na maximální letové hladině se mění celkové množství paliva, palivo pro traťový let a palivo pro nepředvídatelné okolnosti. Množství paliva pro let na záložní letiště je ve všech případech stejné, jelikož na tomto relativně krátkém úseku letadlo většinou zůstává v rámci současného RVSM prostoru. Žádné další palivo nebylo zahrnuto v měření, jelikož složka Extra je předmětem rozhodnutí posádky před konkrétním letem, tudíž nejde odhadnout její reálnou hodnotu.

#### **3.1 Výsledky analýzy letových plánů**

Pro první linku z Londýna do Darwinu v maximální hladině 410 celkové množství paliva na let činí 92 326 kg. Z toho traťové palivo je 85 310 kg. Celková doba letu je 17 hodin a 15 minut. Doba letu na záložní letiště Tindal činí 43 minut a pro tento úsek je potřeba 3073 kg paliva. Celkové množství paliva pro let na záložní letiště a konečná záloha je 4869 kg. Letadlo je schopné vystoupat do letové hladiny 410 po deseti a půl hodinách letu a využije tuto hladinu po dobu šesti hodin. Toto odpovídá 35% celkové doby letu.



```

-----
                PLANNED FUEL
-----
FUEL              ARPT    FUEL    TIME
-----
TRIP              DRW    85310   1715
CONT 20 MIN      KUL    1648    0020
ALTN             KTR    3073    0043
FINRES                    1796    0030
ETOPS/ETP                    0    0000
-----
MINIMUM T/OFF FUEL    91827   1848
-----
EXTRA                    0    0000
-----
T/OFF FUEL                    91827   1848
TAXI              LHR     499    0020
-----
BLOCK FUEL        LHR    92326
PIC EXTRA                    .....
TOTAL FUEL                    .....
REASON FOR PIC EXTRA .....
-----
FMC INFO:
FINRES+ALTN                    4869
TRIP+TAXI                      85809

```

Obrázek 12: Plánované palivo na let ve FL410 do YPDN

Kdyby letadlo dostoupalo do hladiny 430, ušetřilo by 281 kg paliva a doletělo by do destinace o 4 minuty dříve. Celková doba, strávená v hladině 430 je 4 hodiny 36 minut, což odpovídá zhruba 27% celkové doby letu. Konečná záloha paliva a palivo pro let na záložní letiště zůstávají stejné.





```

-----
                        PLANNED FUEL
-----
FUEL                ARPT    FUEL    TIME
-----
TRIP                DRW    85029   1711
CONT 20 MIN        KUL    1648    0020
ALTN                KTR    3073    0043
FINRES              1796    0030
ETOPS/ETP          0       0000
-----
MINIMUM T/OFF FUEL  91546   1845
-----
EXTRA                0       0000
-----
T/OFF FUEL          91546   1845
TAXI                LHR    499     0020
-----
BLOCK FUEL          LHR    92045
PIC EXTRA           .....
TOTAL FUEL          .....
REASON FOR PIC EXTRA .....
-----
FMC INFO:
FINRES+ALTN        4869
TRIP+TAXI          85528

```

Obrázek 13: Plánované palivo na let ve FL430 do YPDN

Pro zpáteční let z Darwinu do Londýna je celkové množství paliva pro traťový let s maximální hladinou 400 – 90 097 kg. Let na záložní letiště trvá pouhých 27 minut a je pro něj potřeba 1775 kg paliva.



```

-----
                        PLANNED FUEL
-----
FUEL                ARPT    FUEL    TIME
-----
TRIP                LHR    84339  1653
CONT 20 MIN        PKX    1665   0020
ALTN                LGW    1775   0027
FINRES              1819   0030
-----
MINIMUM T/OFF FUEL  89598  1810
-----
EXTRA                0      0000
-----
T/OFF FUEL          89598  1810
TAXI                DRW    499    0020
-----
BLOCK FUEL          DRW    90097
PIC EXTRA           .....
TOTAL FUEL          .....
REASON FOR PIC EXTRA .....
-----
FMC INFO:
FINRES+ALTN         3594
TRIP+TAXI           84838

```

Obrázek 14: Plánované palivo na let ve FL400 do EGLL

V případě rozšíření RVSM prostoru, letadlo by mohlo nastoupat do hladiny 420 v poslední třetině svého letu a ušetřit tak 405 kg.



```

-----
                        PLANNED FUEL
-----
FUEL                ARPT    FUEL    TIME
-----
TRIP                LHR    83938   1650
CONT 20 MIN        PKX    1661    0020
ALTN                LGW    1775    0027
FINRES              1819    0030
-----
MINIMUM T/OFF FUEL  89193   1807
-----
EXTRA                0       0000
-----
T/OFF FUEL          89193   1807
TAXI                DRW    499     0020
-----
BLOCK FUEL          DRW    89692
PIC EXTRA           .....
TOTAL FUEL          .....
REASON FOR PIC EXTRA .....
-----
FMC INFO:
FINRES+ALTN         3594
TRIP+TAXI           84437

```

Obrázek 15: Plánované palivo na let ve FL420 do EGLL

V současné době existuje také možnost využít hladinu 430 pro lety na západ, nicméně ušetřené množství paliva je menší než ve hladině 420 – pouze 322 kg.



```

-----
                        PLANNED FUEL
-----
FUEL                ARPT    FUEL    TIME
-----
TRIP                LHR    84019   1650
CONT 20 MIN        PKX    1663    0020
ALTN                LGW    1775    0027
FINRES              1819    0030
-----
MINIMUM T/OFF FUEL  89276   1807
-----
EXTRA                0        0000
-----
T/OFF FUEL          89276   1807
TAXI                DRW    499     0020
-----
BLOCK FUEL          DRW    89775
PIC EXTRA           .....
TOTAL FUEL          .....
REASON FOR PIC EXTRA .....
-----
FMC INFO:
FINRES+ALTN        3594
TRIP+TAXI          84518

```

Obrázek 16: Plánované palivo na let ve FL430 do EGLL

Celkové množství paliva pro třetí linku z Londýna do Kapského města činí 61744 kg. Tohle je výpočet pro let ve hladině 410.



```

-----
                        PLANNED FUEL
-----
FUEL                ARPT    FUEL    TIME
-----
TRIP                CPT    54303   1116
CONT 20 MIN        LAD     1606   0020
ALTN                GRJ     3457   0048
FINRES                1879   0030
-----
MINIMUM T/OFF FUEL    61245   1254
-----
EXTRA                0       0000
-----
T/OFF FUEL                61245   1254
TAXI                    LHR     499    0020
-----
BLOCK FUEL            LHR    61744
PIC EXTRA                .....
TOTAL FUEL                .....
REASON FOR PIC EXTRA .....
-----
FMC INFO:
FINRES+ALTN                5336
TRIP+TAXI                  54802

```

Obrázek 17: Plánované palivo na let ve FL410 do FACT

Kdyby letadlo mohlo využít hladinu 430, spálilo by o 132 kg navíc.



```

-----
                        PLANNED FUEL
-----
FUEL                ARPT    FUEL    TIME
-----
TRIP                CPT    54430   1115
CONT 20 MIN        LAD     1611   0020
ALTN                GRJ     3457   0048
FINRES              1879   0030
-----
MINIMUM T/OFF FUEL  61377   1253
-----
EXTRA                0       0000
-----
T/OFF FUEL          61377   1253
TAXI                LHR     499    0020
-----
BLOCK FUEL          LHR    61876
PIC EXTRA           .....
TOTAL FUEL          .....
REASON FOR PIC EXTRA .....
-----
FMC INFO:
FINRES+ALTN         5336
TRIP+TAXI           54929

```

Obrázek 18: Plánované palivo na let ve FL430 do FACT

V případě zpátečního letu z Kapského města do Londýna, letadlo potřebuje celkem 60021 kg paliva pro let s maximální hladinou 400.



```

-----
                        PLANNED FUEL
-----
FUEL                ARPT    FUEL    TIME
-----
TRIP                LHR    54151   1117
CONT 20 MIN        JED     1598   0020
ALTN                LGW     1891   0029
FINRES              1882   0030
ETOPS/ETP          0       0000
-----
MINIMUM T/OFF FUEL  59522   1236
-----
EXTRA                0       0000
-----
T/OFF FUEL          59522   1236
TAXI                CPT     499    0020
-----
BLOCK FUEL          CPT    60021
PIC EXTRA           .....
TOTAL FUEL          .....
REASON FOR PIC EXTRA .....
-----
FMC INFO:
FINRES+ALTN        3773
TRIP+TAXI          54650

```

Obrázek 19: Plánované palivo na let ve FL400 do EGLL

Kdyby letadlo mohlo využít hladinu 420, ušetří tak 219 kg a doletí o jednu minutu rychleji. Celková doba, strávená ve hladině 420 je 2 hodiny a 48 minut. Je to zhruba 25% celkové doby letu.



```

-----
                        PLANNED FUEL
-----
FUEL                ARPT    FUEL    TIME
-----
TRIP                LHR    53935   1116
CONT 20 MIN        JED    1595    0020
ALTN                LGW    1891    0029
FINRES              1882    0030
ETOPS/ETP          0       0000
-----
MINIMUM T/OFF FUEL  59303   1235
-----
EXTRA                0       0000
-----
T/OFF FUEL          59303   1235
TAXI                CPT    499     0020
-----
BLOCK FUEL          CPT    59802
PIC EXTRA           .....
TOTAL FUEL          .....
REASON FOR PIC EXTRA .....
-----
FMC INFO:
FINRES+ALTN         3773
TRIP+TAXI           54434

```

Obrázek 20: Plánované palivo na let ve FL420 do EGLL

V tomto případě nebyl spočítán let pro hladinu 430, jelikož by letadlo letělo nad svoji optimální hladinou a delší dobu před tím by muselo letět ve hladině 400. Nejlepší variantou pro tento let je právě využití hladiny 420.

### 3.2 Výsledky měření přesnosti výškoměrů

Výsledkem měření přesnosti statického systému ADC je následující tabulka č.12. V tabulce je představeno měření údajů o výšce a porovnání s přípustnou tolerancí. Údaje jsou zaznamenané z výškoměrů pilota, druhého pilota a odpovídače.





Alt	Limits	Pilot	Copilot	ATC
		ADS 1	ADS 2	No. 2
		ADS 3	ADS 4	No. 2
40,000	Max: 40,075	40,005	40,008	40,000
	Min: 39,925	40,027	40,027	40,000
45,000	Max:45,085	45,005	45,004	45,000
	Min: 44,915	45,032	45,032	45,000
50,000	Max: 50,095	50,004	50,009	50,000
	Min: 49,905	50,037	50,057	50,000
51,000	Max: 51,097	51,005	51,010	51,000
	Min: 50,903	51,039	51,039	51,000

*Tabulka 12: Výsledky měření přesnosti výškoměrů*



#### 4. Diskuse

Po analýze výsledků můžeme stanovit, že velká dopravní letadla mohou ušetřit stovky kilogramů paliva při využití větších hladin během delších letů. Tato úspora má bezprostřední vliv na ekonomiku letu a jeho ekologický dopad. Při výpočtu ekonomické výhody využití hladin nad FL410 je využit přepočten množství ušetřeného paliva na hmotnost potenciálního užitečného zatížení. Snížení uhlíkové stopy letadla je dokázáno přepočtem množství ušetřeného paliva na hmotnost oxidu uhličitého, který se běžně produkuje při spalovacím procesu v motoru letounu.

Stručné shrnutí množství ušetřeného paliva je přivedeno v tabulce č.13.

Linka	FL400	FL410	FL420	FL430	Rozdíl
LHR-DRW		92326 kg		92045 kg	281kg
DRW-LHR	90097 kg		89692 kg	89775 kg	405kg
LHR-CPT		61744 kg		61876 kg	132kg
CPT-LHR	60021 kg		59802 kg	N/A	219kg

Tabulka 13: Shrnutí rozdílů ve spotřebě paliva

Tyto hodnoty jsou použity níže pro výpočet ekonomického a ekologického dopadu možného rozšíření RVSM prostoru.

#### Ekonomický dopad

Pro zjištění počtu potenciálních letenek, které se můžou prodat na takových letech, byly použité standardní EASA hmotnosti cestujících podle AMC1 CAT.POL.MAB.100(e) Mass and balance, loading.

Standardní hmotnost jednoho cestujícího (nezávislé na pohlaví) v letadle s kapacitou větší jak 30 lidí je 84 kg [17].

Avšak navýšení počtu cestujících vede k větší spotřebě paliva. Množství paliva, které bude navíc spotřebováno letadlem je průměru 2% hmotnosti cestujícího v přepočtu na hodinu letu. Z toho vychází následující vzorec: (1)

$$P = F \div \left(1 + \frac{2 \times t}{100}\right)$$

kde



P je Užitečné zatížení

F je množství ušetřeného paliva

t je celkový čas letu

To znamená, když ušetříme při letu ve hladině 430 na letu z EGLL do YPDN 281 kg paliva, můžeme nabrat náklad nebo lidí v hmotnosti 209,7 kg navíc. Při zpátečním letu do Londýna můžeme vzít o 302,2 kg navíc. V přepočtu na standardní hmotnosti EASA to odpovídá 2,5, respektive 3,6, cestujícím navíc.

V současné době existuje podobná linka z Londýna do Perthu, kterou provozuje australská společnost Qantas. Cena na takový let v prosinci 2022 - lednu 2023, podle oficiálního webu Qantas je kolem 45 000 korun českých za jednosměrný let.

Při lince do Kapského města a zpět bylo možné ušetřit pouze na zpátečním letu, a to 219 kg. Toto odpovídá 179,5 kg užitečného zatížení. Bylo by tak možné prodat na tento let o 2,1 letenky navíc.

Stejnou linku provozuje společnost British Airways a podle jejích oficiálních cen na prosinec 2022–leden 2023, zpáteční let vyjde na 27 000 korun českých, jednosměrný však za 22 000 Kč.

Kdyby společnost rozhodla neprodávat letenky navíc, tak by mohla ušetřit značné množství peněz na ceně paliva.

Právě díky rozšíření RVSM prostoru by provozovatelé mohli ještě víc ušetřit na rozdílů ve spotřebě, a to při využití optimálních letových hladin nad FL410.

Když provozovatel na lince Londýn – Darwin nenavýší náklad o rozdíl ve spotřebě paliva ve hladině FL430, může potenciálně ušetřit 320 amerických dolarů (281 kg = 355,69 litrů).

Na zpáteční lince Darwin - Londýn úspora činí 461 amerických dolarů.

Na lince z Londýna do Kapského města provozovatel spotřebuje o 132 kg paliva navíc, což je v přepočtu zvýšení nákladu o 150 amerických dolarů. Nicméně ušetřené palivo na zpáteční lince do Kapského města přinese provozovateli úsporu 250 amerických dolarů.

Roční úspory budou činit v průměru 142 500 amerických dolarů při provozu linky do Austrálie a 91 250 na lince do Kapského města (pokud letadlo využije rozšíření RVSM pouze na zpáteční lince)



## **Ekologický dopad**

CO<sub>2</sub> je největší složkou emisí z letadel, tvoří přibližně 70 % výfukových plynů. Tento plyn se v atmosféře mísí se stejným přímým oteplovacím účinkem, jaký má jeho vypouštění z jiných zdrojů spalování fosilních paliv. Spotřeba leteckého paliva produkuje CO<sub>2</sub> v definovaném poměru (3,16 kilogramu CO<sub>2</sub> na 1 kilogram spotřebovaného paliva) bez ohledu na fázi letu. Díky své delší životnosti v atmosféře je CO<sub>2</sub> jako skleníkový plyn obzvláště silný. Po vypuštění do ovzduší se 30 % daného množství tohoto plynu během 30 let přirozeně odstraní z atmosféry, dalších 50 % zmizí během několika set let a zbývajících 20 % zůstává v atmosféře po tisíce let [19].

Když přepočteme ušetřené palivo bez ohledu na potenciální zvětšení nákladu na lince, dostaneme následující výsledky:

- Na první lince letadlo vyprodukuje o 887,96 kilogramů oxidu uhličitého míň, na druhé o 1 279,8 míň.
- Při letu do Kapského města není výhodné stoupat nad hranici současného RVSM prostoru, avšak na zpátečním letu by se do atmosféry dostalo o 692 kg CO<sub>2</sub> míň.

Tato čísla jsou ohromující, když se vezme v potaz počet takových linek denně.

Samotné zavedení RVSM prostoru již přispělo ke snížení spotřeby paliva o 1.8 % ± 0.5 % na vnitrostátních letech v USA [20].

Není pochyb, že další rozšíření RVSM prostoru přispěje ke snížení škodlivých emisí v letecké dopravě.

## **Přesnost výškoměrů nad FL410**

Měření přesnosti moderního systému leteckých dat dokazuje, že současné statické systémy jsou schopné poskytovat přesné údaje o výšce až do hladiny 510. Chyba měření ve hladině 510 je jen o několik setin stop větší, než v současných hladinách RVSM 400 a 410. Při rozšíření RVSM by se tak nemělo vyskytnout větší riziko ztráty rozestupů mezi letadly kvůli špatnému měření výšky.

Kromě toho, můžeme očekávat, že příčina pravděpodobné ztráty rozstupů nad FL410 bude lidská chyba, jak je to v současném RVSM prostoru [7]. V kapitole 1.6 na Grafu č.3 jsou znázorněné nejčastější příčiny při ztrátě vertikálního rozstupu. Ve většině případů příčinou byla lidská chyba, ať už ze strany posádky nebo řídicího. Ostatní příčiny, jako nouzové klesání v případě ztráty přetlaku kabiny, neschopnost udržet hladinu při vysazení motoru nebo plnění



pokynu systému TCAS zůstanou stejné, jelikož se nepředpokládá změna nouzových postupu ve hladinách nad FL410. Rozšíření RVSM prostoru by tak nemělo přinést s sebou žádnou doposud neobjevenou příčinu ztráty rozstupů.



## 5. Závěr

Tato diplomová práce ukazuje, že současný RVSM prostor již nestačí velkým dopravním letadlům. Vzhledem k rychle rozvíjející se letecké dopravě, můžeme v budoucnu očekávat potřebu zvětšit tento prostor alespoň o dvě hladiny do FL430. Toto řešení přispěje k navýšení kapacity světového RVSM prostoru. Současná velká dopravní letadla a budoucí projekty konstrukčních kanceláří by mohly využívat lety v optimální hladině, a tím dosáhnout snížení spotřeby paliva a emisí.

Současné legislativní požadavky na RVSM prostor se dají aplikovat i na rozšíření tohoto prostoru. Rizika ztráty bezpečného rozestupu mezi letadly jsou totožné i nad hladinou 410. Po analýze přesnosti výškoměrných systémů se dá konstatovat, že technický stav letadel a jejich statických systémů umožňuje bezpečný provoz nad hladinou 410 při uplatnění podmínek snížených vertikálních minim rozstupů.

Jak se ukázalo při analýzách letových plánů v kapitole 3, provozovatelé dálkových linek můžou ušetřit značné množství finančních prostředků při letech ve hladinách 420 a 430. V současné době toto řešení ale skoro není možné z důvodu většího provozu ve vyčíslených regionech, kde nejde zajistit bezpečné rozstupy ve hladinách 420 a 430 zároveň s navýšením kapacity těchto hladin. Pravidelné využití hladin 420 a 430 by otevřelo cestu k bezproblémovému využití těchto hladin v rámci prostoru RVSM, a umožnilo by leteckým společnostem optimalizovat své náklady a zvýšit výnosy. Právě rozšíření tohoto prostoru o dvě hladiny navíc se jeví jako nejvíc potřebné v dnešní době.

Použitá metoda analýzy spotřeby paliva na vybraných linkách umožňuje získat přehled o výhodě využití letových hladin 420 a 430. Nicméně tyto metody lze také aplikovat na konkrétního leteckého dopravce a dosáhnout přesnějších výsledků úspory paliva pro požadované letecké spoje. Kromě toho, při zohlednění provozních omezení na trati a meteorologické situace je možné dosáhnout přehledu o tom, v jakém světovém regionu by se měl prioritně rozšířit RVSM prostor.

V neposlední řadě, rozšíření RVSM prostoru nad FL410 přinese i pozitivní ekologický dopad. Lidstvo se potýká s výzvou globálního oteplování, a s každým rokem má tak tato problematika větší vliv na všechny obyvatele planety. Letecká doprava bohužel přispívá k produkci škodlivých emisí a znečišťování planety. Menší spotřeba paliva bude znamenat snížení emisí oxidu uhličitého a menší uhlíkovou stopu letadel. Společně tak přispějeme ke snížení tempa globálního oteplování.



Pevně věřím, že tato práce bude přínosná pro budoucí rozvoj civilního letectví, a rozšíření RVSM prostoru bude součástí bezpochybného zvýšení objemu provozu letecké dopravy.



## Seznam použité literatury

- [1] Eurocontrol. Celebrating 20 years of Reduced Vertical Separation [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/article/celebrating-20-years-reduced-vertical-separation>
- [2] ICAO. Doc 9574 AN/934 Manual on Implementation of a 300 m (1 000 ft) Vertical Separation Minimum Between FL 290 and FL 410 Inclusive. [cit. 2022-11-22].
- [3] Skybrary. Reduced Vertical Separation Minima (RVSM) [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://www.skybrary.aero/articles/reduced-vertical-separation-minima-rvsm>
- [4] Eurocontrol. European Regional Monitoring Agency [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/service/european-regional-monitoring-agency>
- [5] Skybrary. Height Monitoring Units (HMU) [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://skybrary.aero/articles/height-monitoring-units-hmu>
- [6] ICAO. MIDANPIRG Air Traffic Management Sub-Group Fifth Meeting (ATM SG/5) [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://www.icao.int/MID/Documents/2019/ATM%20SG5/WP6.pdf>
- [7] NavCanada. RVSM VERTICAL RISK ESTIMATES 2021 Canadian Domestic [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2022/GTE22/GTE22-P07.pdf>
- [8] Oxford Aviation Academy. Aircraft General Knowledge 4. Fourth edition [cit. 2022-11-22].
- [9] Flight mechanic. Pressure Instruments (Part Two) [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://www.flight-mechanic.com/pressure-instruments-part-two/>
- [10] FAA. Altimetry System Error (ASE) Data Introduction to Discussions [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: [https://www.faa.gov/air\\_traffic/separation\\_standards/rvsm/documents/ASE/1.4\\_ASE\\_Data\\_Introduction\\_to\\_Discussions.pdf](https://www.faa.gov/air_traffic/separation_standards/rvsm/documents/ASE/1.4_ASE_Data_Introduction_to_Discussions.pdf)
- [11] ICAO. REPORT OF THE FIFTY-NINTH MEETING OF THE EUROPEAN AIR NAVIGATION PLANNING GRO [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://www.icao.int/EURNAT/EUR%20and%20NAT%20Documents/EUR%20Documents/EANPG%20Reports/EANPG59/EANPG59%20RASGEUR06%20Final%20Report.pdf>





- [12] Skybrary. Altimeter System Error [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://skybrary.aero/articles/altimetry-system-error>
- [13] EASA. Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Annex V Specific approvals [Part-SPA] of Commission Regulation (EU) 965/2012 on air operations. [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/en/downloads/22557/en>
- [14] Skybrary. High Altitude Flight Operations [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://skybrary.aero/articles/high-altitude-flight-operations>
- [15] Skybrary. Air Data Computer (ADC) [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://skybrary.aero/articles/air-data-computer-adc>
- [16] Úřad pro civilní letectví. Air Data Computer (ADC) [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: [https://www.caa.cz/wp-content/uploads/2019/07/CAA-ST-092-n-07\\_REV-2\\_EN-2\\_.pdf](https://www.caa.cz/wp-content/uploads/2019/07/CAA-ST-092-n-07_REV-2_EN-2_.pdf)
- [17] EASA. Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Annex IV – Part-CAT [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/en/downloads/18231/en>
- [18] IATA. Jet Fuel Price monitor [online]. [cit. 2022-10-30]. Dostupné z: <https://www.iata.org/en/publications/economics/fuel-monitor/>
- [19] EESI. Issue Brief | The Growth in Greenhouse Gas Emissions from Commercial Aviation (2019, revised 2022) [online]. [cit. 2022-10-30]. Dostupné z: <https://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-the-growth-in-greenhouse-gas-emissions-from-commercial-aviation#:~:text=Jet%20fuel%20consumption%20produces%20CO2,of%20the%20phase%20of%20flight.>
- [20] Andrew Malwitz, Timothy Yoder, Sathya Balasubramanian, Gregg Fleming, Ian Waitz. Assessment of the impact of reduced vertical separation on aircraft-related fuel burn and emissions for the domestic United States [online]. [cit. 2022-10-30]. Dostupné z: <https://www.iata.org/en/publications/economics/fuel-monitor/>
- [21] COMMISSION REGULATION (EU) No 965/2012 of 5 October 2012 [online]. [cit. 2022-10-30]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012R0965&from=EN>



[22] ICAO Annex (L). Provoz letadel - Část I. [online]. [cit. 2022-10-30]. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-6i/index.htm>

[23] EASA. EASA publishes new fuel/energy rules with positive environmental impact. [online]. [cit. 2022-10-30]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/en/newsroom-and-events/press-releases/easa-publishes-new-fuelenergy-rules-positive-environmental>

[24] SkyBrary. High Altitude Flight Operations. [cit. 2022-10-30]. Dostupné z: <https://www.skybrary.aero/articles/high-altitude-flight-operations>

[25] AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o. Přístrojové vybavení, editor Ludvík Kulčák. Brno, září 2006