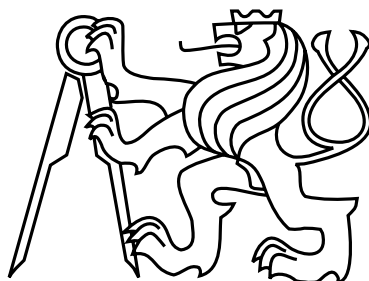


České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta dopravní  
Ústav letecké dopravy



Diplomová práce

## **Implementace vzdušného prostoru volných tratí ve FIR Praha**

*Bc. Martina Skálová*

Vedoucí práce: Ing. Jakub Kraus, Ph.D.

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Obor: Provoz a řízení letecké dopravy

29. května 2017



**K621**..... **Ústav letecké dopravy**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Martina Skálová**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**N 3710 – PL – Provoz a řízení letecké dopravy**

Název tématu (česky): **Implementace vzdušného prostoru volných tratí ve FIR Praha**

Název tématu (anglicky): Implementation of free route airspace in FIR Praha

**Zásady pro vypracování**

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Vzdušný prostor volných tratí
- Návrh vzdušného prostoru volných tratí pro FIR Praha
- SWOT analýza řešení
- Porovnání efektivity provozu na volných tratích oproti klasickým tratím
- Změny pro řídicí letového provozu



- 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: Letecká informační příručka. Řízení letového provozu ČR  
Free Route Airspace developments. EUROCONTROL  
Delahaye, D., Puechmorel, S.: Modeling and Optimization of Air Traffic

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Stanislav Szabo, PhD., MBA.**  
**Ing. Jakub Kraus, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **30. července 2015**  
(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. května 2017**  
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. Stanislav Szabo, PhD. MBA  
vedoucí  
Ústavu letecké dopravy



.....  
prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

.....  
Bc. Martina Skálová  
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 30. prosince 2016

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci vypracovala samostatně a použila jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

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).

V Praze dne 15. 5. 2017



.....

## Poděkování

Děkuji Ing. Jakubu Krausovi, Ph.D. za pomoc při vedení diplomové práce. Mé poděkování patří též Miloši Zídkovi za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnosti při konzultacích.

# Abstract

The thesis focuses on free route airspace implementation in FIR Praha.

The theoretical framework, essential for understanding of the whole issue described in this thesis, is described in opening chapters.

The main issue of the thesis is the SWOT analysis, considering positive and negative impact of FRA implementation on the Czech airspace with emphasis on air traffic control.

The SWOT analysis is based on statistical calculations of free route airspace implementation availability and its convenience, as well as on hot-spot analysis considering condition before and after free the route airspace implementation.

The conclusion of this thesis is focused on procedure changes and conflict detection by air traffic controllers, resulting from implementation of this concept.

# Abstrakt

Diplomová práce se zabývá implementací vzdušného prostoru volných tratí ve FIR Praha.

V úvodních kapitolách se nachází teoretický rámec, nutný k pochopení celé problematiky popsané v této práci. Definuje se zde koncepce vzdušného prostoru volných tratí, nejen v obecném měřítku, ale také se zaměřením na český vzdušný prostor.

Hlavním tématem diplomové práce je SWOT analýza, posuzující pozitivní i negativní dopad implementace FRA na vzdušný prostor České republiky s důrazem na oblast řízení letového provozu.

SWOT analýza se opírá o mnohé statistické výpočty využitelnosti a výhodnosti zavedení vzdušného prostoru volných tratí, stejně jako o analytické rozbory konfliktních míst posuzující stav před a po zavedení free route airspace.

Závěr této práce je zaměřen na změny v postupech a posuzování bezkonfliktnosti letů řídicími letového provozu, plynoucí z implementace této koncepce.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Vzdušný prostor volných tratí</b>	<b>2</b>
2.1	Hranice vzdušného prostoru volných tratí . . . . .	2
2.1.1	Vertikální hranice prostoru . . . . .	3
2.1.2	Horizontální hranice prostoru . . . . .	3
2.1.3	Přechod mezi stávajícími pevnými tratěmi letových provozních služeb a implementací vzdušného prostoru volných tratí . . . . .	4
2.2	Vztah FRA k zakázaným, omezeným a nebezpečným prostorům . . . . .	4
2.3	Nutné úpravy koordinačních dohod a procedur kvůli FRA . . . . .	5
2.4	Změny v plánování letu z důvodu zavedení vzdušného prostoru volných tratí .	5
2.4.1	Letový plán . . . . .	6
2.4.2	Distribuce letového plánu . . . . .	7
2.5	Implementace vzdušného prostoru volných tratí . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Návrh vzdušného prostoru volných tratí pro FIR Praha</b>	<b>10</b>
3.1	Provozní koncepce FRAPRA . . . . .	10
3.1.1	ATM Master Plan (SESAR) . . . . .	11
3.1.2	Nařízení Komise (EU) 716/2014 – Pilot Common Project . . . . .	11
3.1.3	FAB CE Airspace Plan . . . . .	11
3.2	Definice vzdušného prostoru volných tratí ve FIR Praha . . . . .	12
3.3	Využití FRAPRA . . . . .	12
3.4	Letový plán pro let ve FRAPRA . . . . .	13
3.5	Implementace FRAPRA . . . . .	13
<b>4</b>	<b>SWOT analýza řešení</b>	<b>15</b>
4.1	Zavedení vzdušného prostoru volných tratí ve FIR LKAA . . . . .	17
4.2	Maticе SWOT analýzy . . . . .	17
4.3	S - Silné stránky . . . . .	17
4.3.1	Výhodnost pro provozovatele . . . . .	18
4.3.2	Zjednodušení infrastruktury . . . . .	18
4.3.3	Výhodnost pro cestující . . . . .	19
4.3.4	Menší dopad na životní prostředí . . . . .	19
4.3.5	Zvýšení kapacity vzdušného prostoru . . . . .	19

## OBSAH

4.3.6	Snížení počtu konfliktních letů po volných tratích v porovnání s lety po tratích pevných . . . . .	20
4.3.7	Výhodnější prostředí pro uplatnění Profile Climb a Profile Descent . . .	20
4.4	W - Slabé stránky . . . . .	20
4.4.1	Změny ve způsobu vyhledávání konfliktů . . . . .	20
4.4.2	Změny ve způsobu řešení konfliktů . . . . .	21
4.4.3	Nevýhoda pro ANS . . . . .	21
4.4.4	Nutnost zavedení nových nástrojů . . . . .	21
4.5	O - Příležitosti . . . . .	22
4.5.1	Maximální rozšíření volných tratí . . . . .	22
4.5.2	Nové nástroje pro usnadnění řízení . . . . .	22
4.5.3	Optimální provádění Profile Climb a Profile Descent . . . . .	23
4.5.4	Uplatnění EUR trajektorie letu . . . . .	23
4.5.5	Zvýšení propustnosti vzdušného prostoru . . . . .	23
4.6	T - Hrozby . . . . .	23
4.6.1	Změna v analýze bezkonfliktnosti letů . . . . .	23
4.6.2	Snížení letových poplatků za přeletovou jednotku . . . . .	24
4.6.3	Nutnost Změny LOAs a postupů . . . . .	24
4.6.4	Problémy s plánováním strategie a posuzováním zátěže . . . . .	24
4.7	Vyhodnocení . . . . .	24
4.8	Předpoklad úspěšnosti implementace FRA . . . . .	25
<b>5</b>	<b>Porovnání efektivity provozu na volných tratí oproti klasickým tratím</b>	<b>27</b>
5.1	Úspora vzdálenosti, paliva a času . . . . .	27
5.1.1	Statistické výpočty . . . . .	30
5.1.2	Výpočet úspory paliva a času . . . . .	31
5.1.3	Dopad na životní prostředí . . . . .	32
5.1.4	Závěr . . . . .	34
5.2	Posunutí míst konfliktů . . . . .	34
5.2.1	Stav před implementací vzdušného prostoru volných tratí . . . . .	34
5.2.2	Stav po implementaci vzdušného prostoru volných tratí . . . . .	36
5.2.3	Návrh nové sektorizace . . . . .	37
5.3	Rozdíl vzdálenosti přímé tratě při změně kurzu řídicím letového provozu z důvodu aktivace prostoru TRA37 (TRA70) v porovnání se vzdáleností po pevné trati . . . . .	39
5.3.1	Výpočet nejmenší vektorované vzdálenosti pro letadlo AT43 . . . . .	41
5.3.2	Výpočet nejmenší vektorované vzdálenosti pro letadlo B738 . . . . .	51
5.3.3	Výpočet nejmenší vektorované vzdálenosti pro letadlo A388 . . . . .	53
<b>6</b>	<b>Změny pro řídicí letového provozu</b>	<b>55</b>
6.1	Nové nástroje na detekci konfliktů . . . . .	55
6.1.1	Free Route Flight (FRF) strip . . . . .	56
6.1.1.1	Plánovaná trať letu v prostoru FRAPRA přes aktivovaný omezený či zakázaný prostor . . . . .	56
6.1.1.2	Vstup letadla do prostoru FRAPRA mimo hladinové rozmezí . . . . .	56
6.1.1.3	Vstup letadla do prostoru FRAPRA mimo časovou platnost . . . . .	57



## OBSAH

6.1.2	Nástroj na detekci střednědobého konfliktu (MTCDD) . . . . .	57
6.1.3	CDM (Collaborative Decision Making) . . . . .	59
6.1.4	MONA (Monitoring Aids) . . . . .	59
6.1.5	CORA (Conflict Resolution Assistant) . . . . .	60
6.2	Navrhované nástroje na detekci konfliktů . . . . .	60
6.2.1	Elektronický strip indikující narušení vzdušného prostoru po pevné trati	60
6.2.2	Automatická změna tratě v letovém plánu, která se odešle v aktivační zprávě ACT . . . . .	61
6.3	Změna ve výcviku řídicích letového provozu . . . . .	61
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>62</b>
	<b>Literatura</b>	<b>63</b>
<b>A</b>	<b>Zeměpisné souřadnice význačných bodů LKAA</b>	<b>65</b>
<b>B</b>	<b>Seznam přímých tratí</b>	<b>68</b>
<b>C</b>	<b>Četnost využití přímých tratí</b>	<b>70</b>
<b>D</b>	<b>Výpočet vzdálenosti, úspora paliva</b>	<b>72</b>
<b>E</b>	<b>Seznam použitých zkratk</b>	<b>74</b>

# Seznam obrázků

2.1	Implementace 2017 . . . . .	7
2.2	Implementace 2021 . . . . .	8
3.1	Letový plán - plánování trati letových provozních služeb . . . . .	13
3.2	Letový plán - plánování volné trati . . . . .	13
4.1	SWOT analýza . . . . .	15
5.1	Trať OKG - ROMIS . . . . .	27
5.2	Místa konfliktů LKAA . . . . .	35
5.3	Místa konfliktů FRAPRA . . . . .	36
5.4	Nynější sektorizace FIR Praha . . . . .	38
5.5	Předchozí sektorizace LKAA . . . . .	38
5.6	TRA37 . . . . .	39
6.1	FRF SPS strip - DAIW . . . . .	56
6.2	FRF SPS strip - mimo časovou platnost . . . . .	57
6.3	Princip MTCD . . . . .	58

# Seznam tabulek

4.1	SWOT analýza vzdušného prostoru volných tratí . . . . .	17
5.1	Zeměpisné souřadnice pro trať OKG - ROMIS . . . . .	28
5.2	Ortodromické vzdálenosti trati OKG - ROMIS . . . . .	28
5.3	Výpočet vzdálenosti pro trať OKG - ROMIS . . . . .	29
5.4	Výpočty vzdáleností publikovaných volných tratí . . . . .	29
5.5	Parametry ACFT pro statistické výpočty . . . . .	31
5.6	Výpočet úspory paliva a času . . . . .	32
5.7	Průměrná produkce emisí v závislosti na uletěné vzdálenosti . . . . .	32
5.8	Výpočet produkce emisí . . . . .	33
5.9	Výpočet produkce emisí na cestujícího . . . . .	34
5.10	Zeměpisné souřadnice bodů, které definují TRA37 . . . . .	40
5.11	Zeměpisné souřadnice bodů HDO, MAKAL . . . . .	41
5.12	Zeměpisné souřadnice bodů H, G . . . . .	42
5.13	Zeměpisné souřadnice bodů H, J . . . . .	44
5.14	Zeměpisné souřadnice bodů K, J . . . . .	46
5.15	Ortodromické vzdálenosti trati MAKAL - HDO pro AT43 . . . . .	51
5.16	Ortodromické vzdálenosti trati MAKAL - HDO pro B738 . . . . .	53
5.17	Ortodromické vzdálenosti trati MAKAL - HDO pro A388 . . . . .	54

# Kapitola 1

## Úvod

Letecká doprava je nejrychlejší, nejpohodlnější a statisticky nejbezpečnější způsob dopravy. Slouží k přepravě osob, stala se nepostradatelnou i pro přepravu zboží. S narůstajícím významem roste i počet pohybů letadel, jenž se každý den uskuteční. Stávající uzpůsobení vzdušného prostoru již nevyhovuje požadavkům na kapacitu a propustnost, změna postupů a infrastruktury je nevyhnutelná.

Budoucnost letecké dopravy se nachází ve výzkumném projektu SESAR, jehož cílem je vyvinout novou generaci systémů řízení letového provozu, která odpovídá požadavkům narůstající letecké dopravy. Jedním z konceptů, kterým se organizace EUROCONTROL zabývá, je právě Free Route Airspace.

Hlavním cílem této diplomové práce je zhodnocení všech pozitivních a negativních dopadů na český vzdušný prostor po implementaci vzdušného prostoru volných tratí, stanovení rizik a příležitostí, které mohou ovlivnit funkčnost zavedené koncepce. Práce také obsahuje doporučení pro plynulé zavedení vzdušného prostoru volných tratí za současného zachování příslušné úrovně bezpečnosti.

Porovnáním českého vzdušného prostoru před a po implementaci FRA získáváme cenné informace, jež definují doporučení pro plynulé zavedení vzdušného prostoru volných tratí, odkazují na potenciální rizika a usnadňují přechod mezi těmito koncepcemi.

Oblast řízení letového provozu je mi velmi blízká, z tohoto důvodu jsem si zvolila téma, které s touto problematikou úzce souvisí - téma Implementace vzdušného prostoru volných tratí ve FIR Praha.

## Kapitola 2

# Vzdušný prostor volných tratí

Free Route Airspace neboli vzdušný prostor volných tratí je dle organizace EUROCONTROL definován takto

*"A specified airspace within which users may freely plan a route between a defined entry point and a defined exit point, with the possibility to route via intermediate (published or unpublished) way points, without reference to the ATS route network, subject to airspace availability. Within this airspace, flights remain subject to air traffic control."* [5]

v překladu *vymezený vzdušný prostor, jehož uživatelé mohou volně plánovat trasu letu mezi stanovenými vstupními a výstupními body s možností vedení letu pře mezilehlé traťové body (publikované či nepublikované) bez ohledu na tratě letových provozních služeb podléhající dostupnosti vzdušného prostoru. V rámci tohoto vzdušného prostoru zůstávají lety předmětem řízení letového provozu.*

Tato kapitola popisuje podstatu vzdušného prostoru volných tratí a princip určení vertikálních i horizontálních hranic. Kvalifikuje vzájemný vztah mezi FR<sup>1</sup> tratěmi a zakázanými, omezenými a nebezpečnými prostory, koordinačními dohodami a jednotlivými postupy. V závěru této kapitoly je uveden stručný plán implementace vzdušného prostoru volných tratí.

### 2.1 Hranice vzdušného prostoru volných tratí

Vzdušný prostor volných tratí je vymezen jak vertikálně tak i horizontálně. Hranice tohoto prostoru musí být publikovány v Letecké informační příručce příslušného státu.

Zpravidla je vzdušný prostor volných tratí klasifikován jako třída C<sup>2</sup>, výjimky musí být schváleny příslušnými úřady a publikovány v Letecké informační příručce dané země.[5]

---

<sup>1</sup>free route, v překladu volná trať

<sup>2</sup>V třídě C vzdušného prostoru zajišťuje řídicí letového provozu rozstupy mezi letadly, kdy první letadlo letí dle pravidel letu podle přístrojů (IFR), druhé letadlo letí dle pravidel letu podle přístrojů(IFR) či pravidel pro let za viditelnosti (VFR). Pokud obě letadla letí dle pravidel pro let za viditelnosti (VFR), řídicí letového provozu nezajišťuje rozstup, poskytuje pouze informaci o provozu, na žádost i radu k vyhnutí.[17]

### 2.1.1 Vertikální hranice prostoru

Vertikální hranice vzdušného prostoru volných tratí jsou závislé na rozhodnutí příslušných úřadů každého státu, musí být publikovány v Letecké informační příručce.

Vertikální omezení vzdušného prostoru FR tratí by nemělo mít negativní dopad na sousední oblasti, ve kterých vzdušný prostor volných tratí doposud nebyl implementován či byla zavedena pouze jeho část.

Za účelem zavedení harmonizovaného evropského vzdušného prostoru volných tratí, bylo učiněno několik doporučení ke stanovení vertikálních hranic prostoru

- Nejnižší letová hladina by měla být v souladu s vertikálním omezením jednotlivých částí evropského vzdušného prostoru z důvodu zachování vzájemné propojenosti jednotlivých oblastí a jejich harmonizace
- Nejnižší použitelná letová hladina by měla odpovídat požadavkům složitosti vzdušného prostoru a jeho předpovídané kapacity

Vzájemná propojenost sousedních oblastí by měla zahrnovat i koordinační podmínky, které oproti stávajícím koordinačním podmínkám musí být upraveny a přizpůsobeny vzdušnému prostoru volných tratí.

Doporučené je také prodloužení standardních odletových tratí (SID), standardních příletových tratí (STAR) či publikovaných tratí letových provozních služeb, které navazují na FR tratě.

Za účelem zajištění větší flexibility vzdušného prostoru volných tratí, je změna struktury vzdušného prostoru nevyhnutelná. Z důvodu zavedení terminálního řízení, dojde ke strukturálním změnám koncové řízené oblasti (TMA).<sup>3</sup>

K zajištění větší flexibility vzdušného prostoru volných tratí, musí dojít ke změně struktury vzdušného prostoru, který musí být uzpůsoben terminálnímu řízení, což také zahrnuje strukturální změny TMA. [5]

### 2.1.2 Horizontální hranice prostoru

Horizontální hranice vzdušného prostoru by měly být založeny na provozních požadavcích, nikoliv kopírovat hranice vzdušných prostorů jednotlivých států.

Za účelem získání maximálního benefitu plynoucích ze zavedení vzdušného prostoru volných tratí, by měla být snaha maximalizovat rozšíření Free Route Airspace v celém evropském regionu EUR.

Na horizontálních hranicích vzdušného prostoru jsou definovány vstupní či výstupní body, přes které lze FRF<sup>4</sup> plánovat. Dostupnost FR tratí mezi těmito body může být vertikálně či časově omezena. Specifikace jednotlivých vstupních či výstupních bodů je uvedena v Letecké informační příručce příslušného státu.

<sup>3</sup>Řízená oblast ustanovená obvykle v místech, kde se tratě letových provozních služeb sbíhají v blízkosti jednoho nebo více hlavních letišť.[16]

<sup>4</sup>Free Route Flight, v překladu let po volné trati

Pokud je možné volnou trať naplánovat přes zakázaný, omezený či nebezpečný prostor, musí být tato skutečnost uvedena v Letecké informační příručce. Přesto musí být vyvinuto veškeré úsilí vedoucí k maximálnímu zajištění použitelnosti vzdušného prostoru.

Horizontální hranice prostoru by měly být dimenzovány s ohledem na sousední prostory, kde koncepce vzdušného prostoru volných tratí není implementována. V takovém případě by jako výstupní body měly být definovány pouze takové, jež splňují kritérium návaznosti na tratě letových provozních služeb sousední oblasti. Vstupní a výstupní body musí být definovány tak, aby umožnily plynulý přechod mezi volnými tratěmi a pevnými tratěmi letových provozních služeb. [5]

### **2.1.3 Přechod mezi stávajícími pevnými tratěmi letových provozních služeb a implementací vzdušného prostoru volných tratí**

Hlavním cílem implementace FRA je umožnit plánování přímých tratí v časovém intervalu H24, první fáze implementace vzdušného prostoru volných tratí může s sebou přinášet některá časová, horizontální nebo vertikální omezení.

Jednorázové zavedení vzdušného prostoru volných tratí by mohlo mít negativní dopad na propustnost vzdušného prostoru. Postupná implementace FR tratí by měla zlepšit předvídatelnost a minimalizovat množství potenciálních rizik. Bezproblémového zavedení vzdušného prostoru volných tratí můžeme dosáhnout omezením plánovatelných vstupních/výstupních bodů, vertikálními či časovými omezeními.

Povinnost každého státu stanovit plán implementace vychází z nařízení Evropské komise č 716/2014. Implementační plán zahrnuje jednotlivé kroky k plynulému přechodu mezi stávajícím vzdušným prostorem tratí letových provozních služeb a vzdušným prostorem volných tratí.[5]

## **2.2 Vztah FRA k zakázaným, omezeným a nebezpečným prostorům**

Zakázané, omezené a nebezpečné prostory můžeme rozlišit podle času aktivace na trvalé a přechodné.

Mezi trvale aktivované prostory patří nebezpečný prostor (D), zakázaný prostor (P) a omezený prostor (R). Přechodně aktivované prostory jsou dočasně vyhrazený prostor (TSA) a dočasně rezervovaný prostor (TRA).

Zakázaný vzdušný prostor (P) je takový, v němž jsou téměř všechny lety zakázány. Povoleny jsou lety za účelem pátrání a záchrany, policejní lety, lety letecké záchranné služby bezprostředně související se záchrannou lidského života a lety provádějící leteckou hasičskou činnost.

Omezený prostor (R) je vymezený vzdušný prostor, ve kterém jsou lety letadel omezeny v případě, že je prostor aktivován a není získáno povolení od příslušného stanoviště ATS.

Nebezpečný prostor (D) je vymezený vzdušný prostor, ve kterém mohou v určité době probíhat činnosti nebezpečné pro let, jako je vypouštění plynu nebo likvidace výbušnin. Je doporučeno se takovému prostoru vyhnout.

Dočasně rezervovaný prostor (TRA) je vymezený vzdušný prostor, v němž může probíhat pouze letecká činnost a přes který se v době jeho aktivace nemůže proletět, není-li k tomu zvlášť získáno letové povolení.

V dočasně vyhrazeném prostoru (TSA) může probíhat pouze letecká činnost. V době aktivace TSA není povolen průlet skrz tento prostor.[17][18]

Implementací FRA dochází k napřimění tratí letadel. Přímé tratě mezi vstupními a výstupními body mohou být plánovány přes zakázaný, omezený či nebezpečný prostor. Pokud prostor není možné prolétnout, je nutné, aby řídicí letového provozu zajistil rozstup mezi letadlem a zakázaným, omezeným či nebezpečným prostorem změnou kurzu či přesměrováním letu přes vnitřní traťové body tak, aby letadlo míjelo prostor s dostatečným odstupem.

Maximální odchylka vzdálenosti plánované tratě od skutečně uletěné tratě z důvodu aktivace zakázaného, omezeného či nebezpečného prostoru musí být publikována v Letecké informační příručce.

Použitelnost tratí letových provozních služeb musí být uvedena v dokumentu RAD (Route Availability Document). [5]

## 2.3 Nutné úpravy koordinačních dohod a procedur kvůli FRA

Stávající koordinační dohody (LoA) nevyhovují požadavkům zavedení vzdušného prostoru volných tratí. Z tohoto důvodu je nezbytné přizpůsobit tyto dohody potřebám, kterým z implementace FR vyplývají.

Nynější koordinační podmínky se vztahují k jednotlivým vstupním či výstupním bodům. Implementací FR tratí napříč SES<sup>5</sup> dojde k přeletu hranic FIRu mimo publikované vstupní či výstupní body. Koordinační podmínky budou muset být aplikovány v určitém bloku hranic mezi sousedními FIRy.

S implementací vzdušného prostoru volných tratí souvisí posunutí míst konfliktů. Sektorizace vzdušného prostoru České republiky není vyhovující z hlediska výskytu konfliktních míst po zavedení FR tratí. [5]

## 2.4 Změny v plánování letu z důvodu zavedení vzdušného prostoru volných tratí

Současné plánování letu po tratích letových provozních služeb je složité a zdlouhavé. Zavedením vzdušného prostoru volných tratí budou procesy plánování letu co nejvíce zjednodušeny, aby byly snáze použitelné a srozumitelné.

Hlavními problémy při plánování letů přes vzdušný prostor volných tratí je návaznost volných tratí na tratě letových provozních služeb a plánování přímých tratí přes zakázané, omezené či nebezpečné prostory.

S výjimkou vzdušného prostoru, kde je publikováno přeplánování trasy, je tvůrce letového plánu povinen zajistit, aby daný let ve vzdušném prostoru volných tratí byl naplánován tak, aby nedošlo k narušení aktivního zakázaného, omezeného či nebezpečného prostoru.[4]

---

<sup>5</sup>Single European Sky - Jednotné evropské nebe



Zpracování letových plánů systémem IFPS bude podléhat důkladnější kontrole - kontrole nejnižších použitelných letových hladin FRA nebo např. kontrole návaznosti vzdušného prostoru volných tratí na tratě letových provozních služeb.[5]

### 2.4.1 Letový plán

Let ve vzdušném prostoru volných tratí může být naplánován přes libovolně publikované či nepublikované mezilehlé body, pokud je to umožněno příslušnými úřady a publikováno v Letecké informační příručce. Publikované body jsou definovány zeměpisnými souřadnicemi, nepublikované body jsou určeny zeměpisnými souřadnicemi nebo vzdáleností a směrníkem k publikovanému bodu.

Pokud není možné využít k plánování letu nepublikované body, musí být v letecké informační příručce příslušného státu určeny mezilehlé body, přes které je plánování letu umožněno.

Publikované i nepublikované body musí být uvedeny ve standardním ICAO formátu.<sup>6</sup> Příímý úsek mezi jednotlivými body musí být vyjádřen zkratkou DCT, indikující přímou trať, ve shodě s ICAO Doc 4444.

Uživatelé vzdušného prostoru volných tratí mohou využít jakéhokoliv publikovaného či nepublikovaného bodu k zaznamenání změny hladiny v letovém plánu v případě, že tato letová hladina odpovídá orientaci letu mezi jednotlivými body.

Implementace vzdušného prostoru volných tratí nemá žádný dopad na ICAO formát letového plánu.<sup>7</sup>

Lety OAT se nadále řídí národními předpisy.

Plánování letu GAT podléhá kontrole systému IFPS, stejně jako RPL. Kromě běžných pravidel kontroly letových plánů systémem IFPS, let plánovaný přes vzdušný prostor volných tratí je posuzován, zda

- vyhovuje vstupním a výstupním bodům definovaným pro FRA
- vyhovuje spojovacím bodům mezi SID/STAR a vzdušným prostorem volných tratí; plynule navazuje mezi vzdušným prostorem letových provozních služeb a vzdušným prostorem volných tratí
- není plánován přes aktivovaný prostor
- je plánován v časovém rozmezí platnosti vzdušného prostoru volných tratí [5][16]

<sup>6</sup>Pro vyjádření polohy se používá jedna z následujících alternativ pravidel o vyjadřování údajů: a) 2 až 5 znaků, které tvoří kódové označení přidělené traťovému bodu; b) 4 číslice udávající zeměpisnou šířku ve stupních a desítkách a jednotkách minut následované písmenem N (sever) nebo S (jih), za nimiž následuje 5 číslic udávajících zeměpisnou délku ve stupních a desítkách a jednotkách minut, za nimiž následuje písmeno E (východ) nebo W (západ). Správný počet číslic, kde je to nutné, se vytvoří vložení nul, např. 4620N07805W; c) 2 číslice udávající zeměpisnou šířku ve stupních následované písmenem N (sever) nebo S (jih), za nimiž následují 3 číslice udávající zeměpisnou délku ve stupních, za nimiž následuje písmeno E (východ) nebo W (západ). Správný počet číslic, kde je to nutné, se vytvoří vložení nul, např. 46N078W; d) 2 až 5 znaků, které tvoří kódové označení význačného bodu, následované 3 číslicemi udávajícími zaměření od daného bodu v magnetických stupních, za nimiž následují 3 číslice udávající vzdálenost od bodu v námořních mílech. Správný počet číslic, kde je to nutné, se vytvoří vložení nul, např. bod v magnetickém směru 180 stupňů ve vzdálenosti 40 námořních mil od VOR „FOJ“ by měl být vyjádřen jako F0J180040[16]

<sup>7</sup>viz Doplněk 2 - Letový plán, L4444

## 2.4.2 Distribuce letového plánu

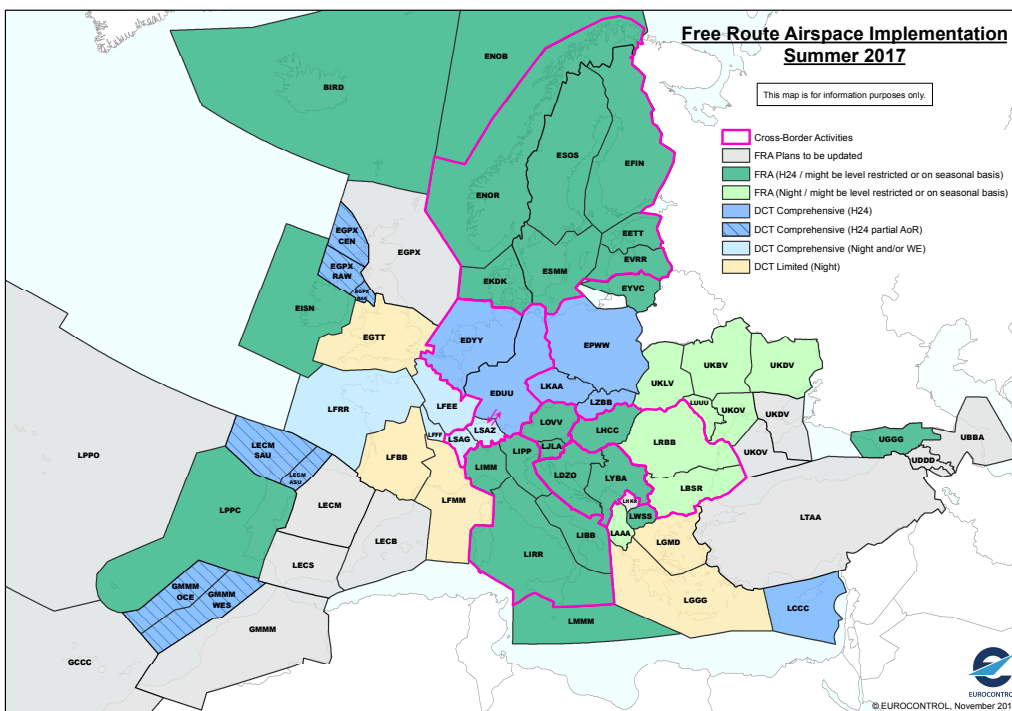
Aktualizace dostupnosti vzdušného prostoru volných tratí mohou vést k přepočítání trajektorie odeslaného letového plánu (ke zpracování systémem IFPS) před tím, než je letový plán distribuován dále. Pro zajištění dodatečných oprav tratí dotčených letů, musí být stanoven časový parametr pro zaslání letových plánů. Pokud dojde k uplynutí časového parametru, letové plány jsou rozeslány a není již možné aktualizovat letovou trať.

Letový plán je distribuován všem dotčeným stanovištím ATS, vojenským organizacím a ostatním účastníkům, pověřeným národními orgány. Systém IFPS by měl zajistit odpovídající výpočty trajektorie letů a rozeslat letové plány všem zainteresovaným stanovištím.

Abychom mohli aplikovat vzdušný prostor volných tratí, je nutné, aby všechny zúčastněné strany měly přístup ke stejným aktuálním informacím.

## 2.5 Implementace vzdušného prostoru volných tratí

Koncept FRA nabízí různé způsoby implementace, které musí splňovat určitá kritéria.



Obrázek 2.1: Implementace 2017

Kritéria kladoucí důraz na bezpečnostní standardy, kompatibilitu s již existující infrastrukturou a na zavedené postupy, schopné dalšího rozvoje a rozšíření do sousedních vzdušných prostorů FR tratí.

Do konce roku 2016, 48 oblastních středisek řízení alespoň částečně implementovalo vzdušný prostor volných tratí. Byl tím překonán cíl projektu Network Manager Performance plan, jenž počet středisek se zavedeným vzdušným prostorem volných tratí odhadoval na 35.

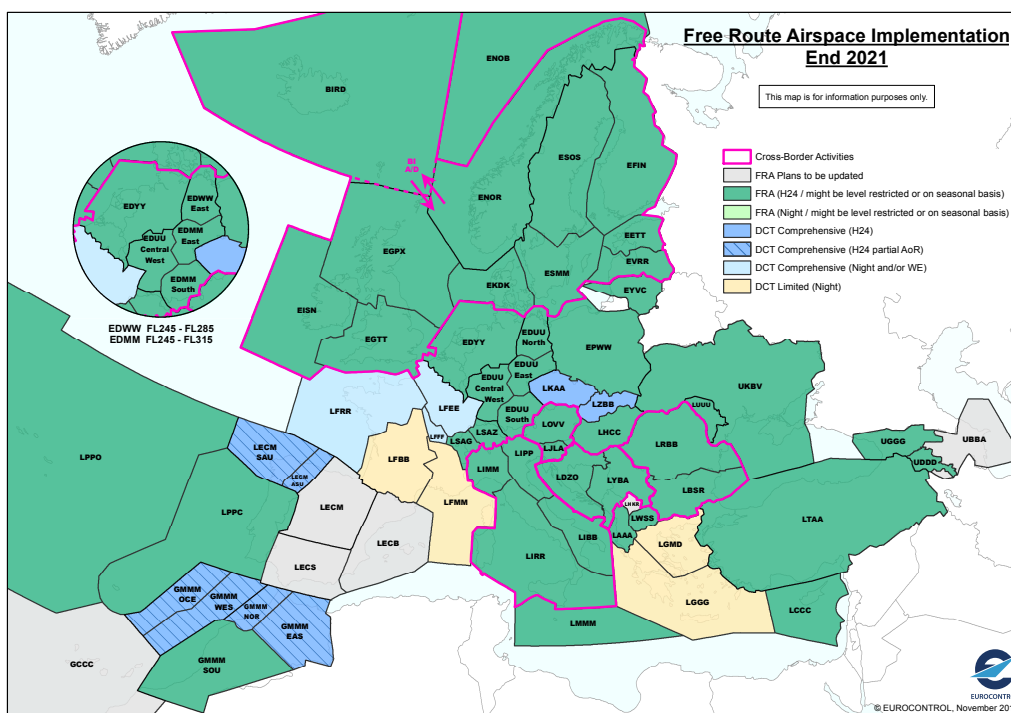
Na obrázku 2.1 jsou zobrazeny plánovaná zavedení vzdušného prostoru volných tratí na rok 2017.

Do roku 2021/2022 se očekává zavedení vzdušného prostoru volných tratí v celém evropském vzdušném prostoru (viz obrázek 2.2).

Tento vývoj je výsledkem spolupráce mezi Network Manager, národními orgány činnými v letectví, armádou a uživateli vzdušného prostoru.

Do roku 2019/2020 se dá očekávat dodatečné úspory mezi 60 000 - 75 000 NM/den. Tato skutečnost má dopad jak na úsporu paliva, času, tak i na životní prostředí, které zatěžuje méně.

Očekává se, že většina SES vzdušného prostoru bude mít implementován vzdušný prostor FR tratí do roku 2019.



Obrázek 2.2: Implementace 2021

Implementace vzdušného prostoru volných tratí napříč více státy EUR regionu se již uskutečnila nebo bude zahájena v krátkém časovém horizontu v následujících případech

- SAXFRA (Rakousko/Slovinsko)
- SEENFRA (Rumunsko/Maďarsko/Bulharsko)
- SEAFRA (ACC Bělehrad/Záhřeb)
- NEFRA (Estonsko/Lotyško/Finsko/Švédsko/Dánsko/Norsko) [5]

## Kapitola 3

# Návrh vzdušného prostoru volných tratí pro FIR Praha

Implementace vzdušného prostoru volných tratí letovými provozními službami<sup>1</sup> ve FIR Praha se nazývá FRAPRA (zkratka z označení Free Route Airspace Praha). Kapitola Návrh vzdušného prostoru volných tratí pro FIR Praha obsahuje teoretický rámec tohoto konceptu aplikovaný v měřítku České republiky, definici FRAPRA a plán implementace FRA ve FIR Praha.

Implementace vzdušného prostoru volných tratí ve FIR Praha se nachází ve druhé fázi, tzn. uplatňují se zde jak publikované přímé tratě s časovou působností H24 a vertikálním omezením letovými hladinami, tak i noční DCT tratě.

### 3.1 Provozní koncepce FRAPRA

Provozní koncept FRAPRA definuje plán implementace vzdušného prostoru volných tratí ve FIR Praha organizací ŘLP ČR, s.p. Tento koncept vychází z několika projektů:

- ATM Master Plan (SESAR)
- Nařízení Komise (EU) 716/2014 – Pilot Common Project
- FAB CE Airspace Plan
- Network Strategic Plan (Evropská Komise)
- Network Operations Plan (EUROCONTROL)

Koncepce *ATM Master Plan (SESAR)*, *Nařízení Komise (EU) 716/2014 – Pilot Common Project* a *FAB CE Airspace Plan* jsou detailněji popsány níže.

---

<sup>1</sup>v České republice je příslušným orgánem ŘLP ČR, s.p.

### 3.1.1 ATM Master Plan (SESAR)

Single European Sky ATM Research (SESAR) je výzkumným programem EU, jehož stěžejním cílem je vývoj nových principů, na nichž má být založeno poskytování ATM v časovém horizontu 2020 až 2025. Jako takový není SESAR závazným plánovacím dokumentem a termíny IOC (Initial Operational Capability) a FOC (Full Operational Capability) vymezují časové údobí ve kterém se uplatnění dotyčného operačního principu předpokládá.

Z praktického hlediska nejdůležitějším materiálem SESAR je „*ATM Master Plan*“, který slouží jako hlavní plánovací nástroj na definování priorit při modernizaci vzdušného prostoru napříč jednotným evropským nebem (SES). Tento dokument neobsahuje pouze seznam činností, ale nacházejí se zde také odůvodnění a časový plán implementace. Udává tedy rámec jednotlivých činností, včetně jejich podrobného popisu.[19]

### 3.1.2 Nařízení Komise (EU) 716/2014 – Pilot Common Project

Nařízení Evropské komise 716/2014 pojednává o zřízení pilotního společného projektu na podporu provádění evropského hlavního plánu uspořádání letového provozu (SESAR). Nařízení 716/2014 definuje soubor funkcí ATM, které mají být včas, koordinovaně a synchronizovaně implementovány tak, aby bylo dosaženo změn plynoucích z evropského hlavního plánu ATM.

*Pilot Common Project*, v překladu pilotní společný projekt zahrnuje funkce: rozšířené řízení přiletů a navigace založená na výkonnosti v koncových řízených oblastech s vysokou hustotou letového provozu, integrace a propustnost letiště, flexibilní uspořádání vzdušného prostoru a volné tratě, kooperativní řízení využití sítě, globální informační řídicí systém (počáteční fáze) a sdílení informací o dráze letu (počáteční fáze).[12]

### 3.1.3 FAB CE Airspace Plan

FAB CE je označení pro *Functional Airspace Block Central Europe*, v překladu Středoevropský funkční blok vzdušného prostoru, který se skládá ze 63 sektorů a 8 oblastních středisek řízení, sledujících provoz na více než 529,497 km<sup>2</sup>.

FAB CE je projektem sedmi států - České republiky, Slovenska, Rakouska, Maďarska, Slovinska, Chorvatska a Bulharska. Tyto státy v březnu roku 2008 schválily *FAB CE Feasibility Study Master Plan*, který popisuje implementaci FAB CE za účelem pokrokového a flexibilního rozvoje činností traťových letových provozních služeb.

Struktura a obecné koordinační podmínky mezi státy FAB CE, příslušnými vnitrostátními a vojenskými orgány jsou popsány v dokumentu *Memorandum of Understanding*, který byl podepsán roku 2009. Tímto aktem započala přípravná fáze, která byla ukončena 5. května 2010, a nahradila ji následující fáze implementace.

FAB CE je stěžejní částí projektu jednotného evropského nebe (SES) s cílem vylepšit standardy bezpečnosti ve vzdušném prostoru a kvalitu poskytovaných letových služeb za účelem efektivního využívání evropského vzdušného prostoru. Důsledkem této koncepce je urychlení toku letového provozu po celém světě.[13]

## 3.2 Definice vzdušného prostoru volných tratí ve FIR Praha

Horizontální hranice FRAPRA odpovídají oblasti zodpovědnosti (AOR) oblastního střediska řízení letového provozu (ACC). Oblast zodpovědnosti je rozšířena o prostor (ležící mimo území ČR) delegovaný oblastnímu středisku řízení ve FIR Praha. Z AOR jsou vyjmuty prostory, které služba ACC ČR deleguje sousedním stanovištím.

Na rozdíl od horizontálních hranic, vertikální hranice vzdušného prostoru volných tratí neodpovídají ohraničení oblasti zodpovědnosti ACC. Vertikální rozsah většiny volných tratí je definován v úseku letových hladin FL165 - FL660. Jedinou výjimkou jsou přímé tratě vedoucí ze vstupního bodu BEPAS na výstupní body LAGAR, PADKA, TOMTI, HDO a ENORU, které jsou definovány od FL245 do FL660.

Nejnižší letová hladina vzdušného prostoru volných tratí (FL165), je totožná s horní hranicí TMA. To znamená, že let plánovaný přes horizontální území pražského TMA bude mít s touto oblastí vždy vertikální rozstup 1000ft - nedojde k jejímu narušení.

V rámci FRAPRA lze plánovat publikované DCT ze vstupního bodu na výstupní bod v časovém rozmezí od 2300 (2200) do 0500(0400) UTC, což odpovídá 0000 až 0600 LMT. Podmínkou plánování přímé tratě je, že celý průběh letu v českém vzdušném prostoru musí proběhnout v časovém rozmezí platnosti FRAPRA. V případě zpoždění či změny času je nutné opětovně předložit letový plán, který bude upraven podle aktuálních podmínek v LKAA.

## 3.3 Využití FRAPRA

V prostoru FRAPRA lze plánovat lety po publikovaných přímých tratích, stejně tak jako po tratích letových provozních služeb. Pokud je let plánovaný po přímé trati, není možné zaznamenat změny letové hladiny, rychlosti či pravidel letu jinde, než na vstupních či výstupních bodech.

Změna letových parametrů (letová hladina, rychlost a pravidla letu) mimo vstupní či výstupní body je podmíněna úsudkem řídicího letového provozu s přihlédnutím k aktuální provozní situaci a koordinačním dohodám.

Všechny přílety/odlety s destinací na území České republiky musí být provedeny na tratích letových provozních služeb s výjimkou příletů do letišť spadající do tzv. LKPR group<sup>2</sup> přes vstupní body PADKA a TOMTI. Tyto lety mohou být plánovány po přímých tratích PADKA – VLM a TOMTI – GOLOP.

V případě aktivace dočasně rezervovaných prostorů TRA, přes které by potenciálně mohl být let naplánován, dojde k vydání NOTAMu za účelem oznámení eventuální možnosti vektorování letadla.

---

<sup>2</sup>Do LKPR group patří následující letiště - letiště Václava Havla (LKPR), Vodochody (LKVO) a Kbely (LKKB)

### 3.4 Letový plán pro let ve FRAPRA

Jediná změna v plánování letové trati po zavedení vzdušného prostoru volných tratí se týká pole 15 v letovém plánu.

Pokud je let plánován po tratích letových provozních služeb (jako v případě obrázku 3.1), mezi jednotlivými body musí být uveden název trati letových provozních služeb. Toto plánování je velice zdlouhavé a složité.

15 CESTOVNI RYCHLOST / Cruising speed	HLADINA / Level	TRATĚ / Route
-		HDO M748 KOMUR L620 ROMIS

Obrázek 3.1: Letový plán - plánování trati letových provozních služeb

Pokud je let plánován po publikované volné trati v prostoru FRAPRA, místo letové trati se mezi jednotlivými body uvede slovo DCT, indikující přímou trať (obrázek 3.2).

Je možné plánovat pouze publikované volné tratě.

15 CESTOVNI RYCHLOST / Cruising speed	HLADINA / Level	TRATĚ / Route
-		HDO DCT ROMIS

Obrázek 3.2: Letový plán - plánování volné trati

### 3.5 Implementace FRAPRA

Implementace vzdušného prostoru volných tratí probíhá ve třech krocích

**1. krok** - ukončeno 2. května 2013

První krok implementace FRAPRA představuje pozvolný přechod z tratí letových provozních služeb na volné trati. Publikované přímé trati jsou **definované pouze v určitém vertikálním rozmezí hladin a časovém intervalu**, většinou od 0000 až 0600 LMT.

První krok implementace FRAPRA probíhá ve 2 fázích.

- 1. fáze - postupné zavádění **časově omezených DCT tam, kde je to provozně výhodné**



- 2. fáze - přechod na FR tratě s publikovanými omezeními (**volné plánování mezi publikovanými vstupními a výstupními body s respektováním publikovaných omezení**). Vertikální hranice FRAPRA defaultně nastavena na rozmezí letových hladin FL165 – FL660. Společně s publikovanými nočními FR tratěmi **jsou k dispozici také tratě letových provozních služeb**. V této fázi musí dojít k **úpravě koordinačních dohod** se sousedními stanovišti letových provozních služeb.

## **2. krok** - předpokládaný konec tohoto kroku 2018+

V druhém kroku implementace FRAPRA je **většina volných tratí publikována s působností H24**. Existují ale i vybrané **noční DCT**, které jsou použitelné pouze v časovém rozmezí od 2300(2200) do 0500(0400) UTC, což odpovídá 0000 až 0600 LMT. **Počet všech přímých tratí je stejný nebo vyšší než v prvním kroku**. Všechny použitelné volné tratě jsou uvedeny v AIP RAD Appendix 4.

## **3. krok** - předpokládaný konec tohoto kroku 2019+

Hlavními cíli třetího kroku implementace vzdušného prostoru volných tratí jsou **plnohodnotné zavedení FRAPRA** bez časových či hladinových omezení a **implementace business trajektorie**<sup>3</sup>. Předpokládá se také zavedení **vzdušného prostoru volných tratí mezi více státy** (*FAC CE x-Border Free Route Project*).

---

<sup>3</sup>Projekt SESAR; letadlo po vzletu plynule vystoupá do své cestovní hladiny, ve které se nachází po celou dobu letu až do plánovaného bodu zahájení klesání *top of descent*, ve kterém začne plynule klesat na letiště určení

## Kapitola 4

# SWOT analýza řešení

**SWOT** analýza je jedna ze základních metod strategické analýzy. SWOT je zkratka anglického originálu, kde **S** = **Strenghts** (silné stránky), **W** = **Weaknesses** (slabé stránky), **O** = **Opportunities** (příležitosti) a **T** = **Threats** (hrozby). Tyto položky označují jednotlivé kvadranty matice.

Matici můžeme rozdělit na levou a pravou, horní a dolní polovinu. Levá polovina obsahuje položky, které mají pozitivní dopad na posuzovaný projekt, pravá polovina představuje jeho negativní skutečnosti.

V horní polovině nalezneme ovlivnitelné faktory, které vychází z vnitřního prostředí, dolní polovina obsahuje faktory, jejichž původ nachází ve vnějším prostředí a ovlivnit se nedají.

Grafické zobrazení SWOT analýzy představuje obrázek 4.1.



Obrázek 4.1: SWOT analýza

**Silné stránky** představují oblasti, v kterých je subjekt lepší než konkurence. Cílem subjektu je maximalizovat silné stránky.

Do silných stránek patří především schopnosti, dovednosti, znalosti, zdroje, potenciál a dosažené úspěchy.

Skutečně silnou stránkou je ale pouze to, v čem daný subjekt exceluje a předčí ostatní firmy.

**Slabé stránky** jsou opakem stránek silných. Vychází z analýzy vnitřního prostředí subjektu. Tyto slabé stránky snižují vnitřní hodnotu podniku. Cílem subjektu je minimalizace slabých stránek.

Mezi slabé stránky patří například vysoké náklady, nízká produktivita nebo třeba slabá reputace.

**Příležitosti** zahrnují skutečnosti, které mohou subjektu přinést úspěch, pokud je správně identifikujeme a využijeme vhodným způsobem.

Patří sem například modní trendy, nové technologie nebo dotační programy na technologie a vzdělávání.

Právě příležitosti je velmi těžké určit, většinou jsou zaměňovány se silnými stránkami či možnými strategiemi.

**Hrozby** představují externí skutečnosti, které mohou negativně ovlivnit aspekty subjektu. Mohou snížit poptávku, mít dopad na spokojenost zákazníků či negativně zasáhnout ekonomiku subjektu.

Hrozbami mohou být například ztráta zákazníka či dodavatele, nárůst fixních nákladů či živelné pohromy. [20]

### Postup vypracování SWOT analýzy

1. *Stanovení cílů* - určení účelu SWOT analýzy a její směřování
2. *Průzkum a sběr informací* - zjištění spolehlivých informací, na jejichž základě dojde k analýze situace
  - (a) *Průzkum a sběr informací* - získání potřebných informací z dokumentů, zkušeností
  - (b) *Analýza shromážděných informací* - rozbor získaných informací, určení silných a slabých stránek, příležitostí a hrozeb
3. *Stanovení silných a slabých stránek, příležitostí a hrozeb*
4. *Vyhodnocení SWOT analýzy* - po sestavení matice musíme určit souvislosti a formulovat strategie k dosažení cíle
5. *Shrnutí SWOT analýzy* - snaha využít silné stránky, slabé stránky eliminovat, optimalizovat využití příležitostí a minimalizovat následky hrozeb [15]

## 4.1 Zavedení vzdušného prostoru volných tratí ve FIR LKAA

Hlavním cíle této SWOT analýzy je posoudit zavedení vzdušného prostoru volných tratí, stanovit silné a slabé stránky, příležitosti a hrozby, určit strategii a akční plán implementace.

Na základě dostupných informací a jejich analýze jsem stanovila slabé a silné stránky, příležitosti a hrozby, které jsou shrnuty do matice SWOT analýzy v tabulce 4.1.

## 4.2 Matice SWOT analýzy

Tabulka 4.1: SWOT analýza vzdušného prostoru volných tratí

S (Silné stránky)	W (Slabé stránky)
<ul style="list-style-type: none"><li>- výhodnost pro provozovatele</li><li>- zjednodušení infrastruktury</li><li>- výhodnost pro cestující</li><li>- menší dopad na životní prostředí</li><li>- zvýšení kapacity prostoru</li><li>- snížení počtu konfliktů v porovnání s lety po pevných tratích</li><li>- výhodnější prostředí pro uplatnění "Profile Climb" a "Profile Descent"</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- změny ve způsobu vyhledávání konfliktů</li><li>- změny ve způsobu řešení konfliktů</li><li>- nevýhoda pro ANS</li><li>- nutnost zavedení nových nástrojů</li></ul>
O (Příležitosti)	T (Hrozby)
<ul style="list-style-type: none"><li>- maximální rozšíření volných tratí</li><li>- nové nástroje pro usnadnění řízení</li><li>- snadnější provádění „Profile Climb“ a „Profile Descent“</li><li>- uplatnění EUR trajektorie letu</li><li>- zvýšení propustnosti vzdušného prostoru</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- změna v analýze bezkonfliktnosti letů</li><li>- problémy s plánováním strategie a posuzování zátěže</li><li>- nutnost změny LOAs a postupů</li></ul>

## 4.3 S - Silné stránky

Silné stránky zavedení vzdušného prostoru volných tratí plynou především z podstaty FRA, a to zkrácení vzdálenosti mezi destinacemi. S tímto benefitem souvisí taktéž zkrácení doby letu, menší spotřeba paliva a menší dopad na životní prostředí.

Jednotlivé aspekty jsou detailněji rozvedeny níže.

### 4.3.1 Výhodnost pro provozovatele

Zavedení vzdušného prostoru volných tratí s sebou nese spoustu výhod, které ovlivní nejen finanční stabilitu provozovatele. Mezi hlavní výhody patří

- Nižší spotřeba paliva
- Kratší doba letu
- Snažší plánování letu
- Snížení přeletových poplatků

Realizace přímých tratí logicky povede ke snížení uletěné vzdálenosti a tím k celkově nižší spotřebě paliva. Nižší spotřeba paliva se pozitivně promítne do nákladů provozovatele.

Kratší doba letu se promítne do dvou hlavních aspektů - využitelnost letadla a platového ohodnocení posádek. Pokud letadlo tráví méně času ve vzduchu, stihne více letů a to znamená větší zisk pro provozovatele. V dnešní době je plat posádky rozdělen do dvou částí - fixní a variabilní. Variabilní část mzdy se odvíjí od počtu hodin, které posádka reálně stráví na palubě letadla. Pokud se tento čas zkrátí, provozovatel má menší mzdové náklady.

Snažší plánování letu ve vzdušném prostoru volných tratí vyplývá především z absence letových tratí provozních služeb, které jsou z tohoto plánování vynechány. Let je proveden přes k tomu určené traťové body, mezi kterými je let naplánován přímo. V letovém plánu je tento let označen jednotlivými waypointy, mezi kterými se nachází slovo DCT, které představuje přímou trať mezi těmito body.

Vzhledem k tomu, že přeletové poplatky<sup>1</sup> se neodvíjí od fakticky letěné tratě, ale od tratě v letovém plánu, dojde taktéž se snížení těchto poplatků.

### 4.3.2 Zjednodušení infrastruktury

V současné době se na území vzdušného prostoru České republiky vyskytuje přibližně 55 vstupních/výstupních bodů a 78 vnitřních bodů. Český vzdušný prostor tedy disponuje poměrně rozsáhlou infrastrukturou.

Zavedením vzdušného prostoru volných tratí již nebude takové množství traťových bodů využíváno, dojde k jejich redukcí.

Zjednodušení infrastruktury má taktéž dopad na snažší plánování letů.

---

<sup>1</sup>Přeletový poplatek je poplatek za traťové navigační služby ve vzdušného prostoru, kde se daný let uskuteční. Výše přeletového poplatku se určuje z tratě v letovém plánu (pole 15). Pokud nedojde ke změně pole 15 zprávou o změně CHG, je původní trať v letovém plánu závazným podkladem pro výpočet tohoto poplatku. Přeletovými poplatky se zabývá organizace EUROCONTROL. Aktuální měsíční sazba za přeletové služby v ČR se pohybuje okolo 42 eur za přeletovou jednotku v závislosti na aktuálním kurzu.

### 4.3.3 Výhodnost pro cestující

Zavedení vzdušného prostoru volných tratí má pozitivní dopad nejen na provozovatele, ale i na cestující a to především z těchto důvodů

- Kratší doba letu
- Potenciálně nižší cena letenek

Kratší doba letu je závislá na kratší vzdálenosti, kterou letadlo musí uletět.

Další výhodou pro cestující je potenciálně nižší cena letenek. Z důvodu nižších nákladů provozovatelů po zavedení vzdušného prostoru volných tratí, může dojít ke snížení ceny letenek.

### 4.3.4 Menší dopad na životní prostředí

Letecká doprava vyprodukuje 2-3% emisí CO<sub>2</sub>, které jsou způsobeny lidskou činností. Oxid uhličitý není ale jediným znečišťovatelem životního prostředí. Do této skupiny můžeme zařadit taktéž NO<sub>x</sub> nebo H<sub>2</sub>O. Tyto sloučeniny hrají významnou roli v chemických procesech, které vedou ke skleníkovému efektu a zmenšování ozónové vrstvy.

Předpokládá se, že zavedení vzdušného prostoru volných tratí povede ke zkrácení trajektorií letu s možností optimalizace vertikálního profilu letu. Vedlejším pozitivem této optimalizace je i snížení spotřeby paliva a menší produkce znečištění, které má negativní dopad na životní prostředí.

### 4.3.5 Zvýšení kapacity vzdušného prostoru

Organizace a management prostoru vyhovují operacím letových provozních služeb založeným na 4D trajektorii<sup>2</sup> bude rozhodujícím faktorem umožňujícím optimální poskytování ATM<sup>3</sup>. Objem a náročnost činností řídicího spojených s jedním letem je základním faktorem ovlivňujícím kapacitu.

Koncept předpokládá navýšení kapacity snížením pracovní zátěže řídicího a to jednak odstraněním části rutinních činností (čerpání základních koordinačních dat ze sdílené 4D trajektorie, v nestandardních situacích nutný koordinační dialog na základě SYSCO, instrukce a povolení, u nichž nehrozí nebezpečí z prodlení předávaná prostřednictvím A/G<sup>4</sup> data link, atd) a dále snížením počtu nutných taktických intervencí, kterým se nepodařilo předejít strategickým řešením konfliktů ostatních 4D trajektorií.

Nové způsoby a metody zajišťování rozstupů (separation modes) podporované novými nástroji (tools), využívání aktuálních a vysoce přesných dat čerpaných ze sdílené 4D trajektorie prodlouží průměrnou dobu platnosti každého vydaného povolení.

---

<sup>2</sup>4D trajektorie je založena třech prostorových dimenzích (x, y, z) a času; to znamená, že jakékoliv zpoždění je narušení trajektorie stejně jako změna hladiny nebo horizontální polohy

<sup>3</sup>Air Traffic Management - Uspořádání letového provozu

<sup>4</sup>Aircraft-Ground; komunikace letadlo-země

Nové monitorovací a varovací nástroje rovněž umožní automatickou identifikaci nutných úkonů (např. CORA<sup>5</sup>), sledování dodržování vydaného povolení (nástroje typu CLAM<sup>6</sup>, globálně MONA – Monitoring Aids, atd.).

#### 4.3.6 Snížení počtu konfliktních letů po volných tratích v porovnání s lety po tratích pevných

Implementace vzdušného prostoru volných tratí vyústí v jejich napřímení a rozložení do větší plochy. Tím se sníží počet konfliktů, které řídicí letového provozu musí detekovat, v porovnání s lety po pevných tratích.

Detekce bezkonfliktnosti jednotlivých letů bude těžší, protože dojde k posunu konfliktů na neobvyklá místa, řídicí letového provozu musí sledovat každý jednotlivý let, nemůže se spolehnout ani na přidělování hladin protisměrných tratí<sup>7</sup>.

#### 4.3.7 Výhodnější prostředí pro uplatnění Profile Climb a Profile Descent

Bezkonfliktní trajektorie letu umožňuje plynulejší profil stoupání do cestovní hladiny i plynulejší profil klesání. Větší část letu bude provedena v cestovní hladině.

Budoucnost letecké dopravy je v tzv. *business trajektorii*, která představuje optimální let, kdy letadlo po startu z letiště vzletu vystoupá plynule do požadované cestovní hladiny, v které letí až do bodu zahájení klesání (Top of Descent), kde začne plynule klesat na letiště určení.

### 4.4 W - Slabé stránky

Největší slabinou zavedení vzdušného prostoru volných tratí je změna způsobu vyhledávání a řešení konfliktů řídicími letového provozu.

#### 4.4.1 Změny ve způsobu vyhledávání konfliktů

Řídicí letového provozu jsou zvyklí detekovat konflikty vznikající na obvyklých místech. Vlivem implementace vzdušného prostoru volných tratí se tato konfliktní místa posunou a rozptýlí do větší plochy. Budou tedy tvořit jinde a řídicí letového provozu bude muset vynaložit více pozornosti na detekci takového konfliktu.

Řídicí se bude muset zaměřit na každý jednotlivý let, bez ohledu na přidělování letových hladin na protisměrných tratích.

I z tohoto důvodu bude nutné zavést nové nástroje na řízení letového provozu a to konkrétně MTCD, což je nástroj na detekci střednědobého konfliktu.

<sup>5</sup>Conflict Resolution Assistant - Nástroj na řešení konfliktů

<sup>6</sup>Clearance Level Adherence Monitor - nástroj na detekci odchylky od letové hladiny z letového povolení

<sup>7</sup>Letové hladiny jsou přidělovány následovně - IFR letům s tratí od 000 - 179 stupňů jsou určeny liché celé hladiny, např. FL90, FL270, FL410, FL450; IFR letům s tratí od 180 - 359 stupňů jsou určeny sudé celé hladiny, tj. FL220, FL360, FL430, FL470 (FL430 a FL450 se považují za sudé - rozstup 2000ft); VFR letům s tratí od 000 - 179 stupňů jsou vyhrazeny liché poloviční hladiny, tj. FL155, FL195; VFR letům s tratí od 180 - 359 stupňů jsou vyhrazeny sudé poloviční hladiny, tj. FL165, FL185. Letové hladiny jsou vyjadřovány v hektostopách.

#### 4.4.2 Změny ve způsobu řešení konfliktů

Jeden z nejčastějších způsobů zajišťování rozstupů mezi letadly<sup>8</sup> je napřímení tratí jednoho či více letadel. Tento způsob je oblíbený především proto, že na jeho uskutečnění stačí pouze vydání jediného letového povolení.

Zbývající možnostmi jsou změna letové hladiny a radarové vektorování. Tyto způsoby zajištění rozstupů ale vyžadují více letových povolení a instrukcí či dodatečnou koordinaci.

V případě vektorování jsou nutná minimálně 2 vysílání. V prvním vysílání řídicí letového provozu vychyluje letadlo od plánované trati, v dalším vysílání letadlo vrací zpět na trať. Pokud ale nevrací letadlo zpět na trať, je nutná dodatečná koordinace se sousedními stanovišti.

Změna letové hladiny vyžaduje stejné náležitosti jako vektorování - minimálně 2 vysílání či případnou koordinaci.

Tyto aspekty mají negativní dopad na zátěž řídicího letového provozu.

#### 4.4.3 Nevýhoda pro ANS

Nevýhoda pro letové provozní služby plyne z poklesu přeletových poplatků. Vzhledem k tomu, že přeletové poplatky se odvíjí od trati uvedené v letovém plánu, zavedením vzdušného prostoru volných tratí, za předpokladu, že FR byla již uvedena v letovém plánu, dojde ke zkrácení celkové vzdálenosti a tím i poklesu přeletových poplatků.

#### 4.4.4 Nutnost zavedení nových nástrojů

Se zavedením vzdušného prostoru volných tratí vznikne nutnost zavedení nových nástrojů. Zejména MTCD (Medium Term Conflict Detection) - nástroj na detekci střednědobého konfliktu, dále En-Route Conflict Tools - nástroje na detekci konfliktu na trati.

MTCD disponuje 3 základními funkcemi

- detekce a upozornění na možnou ztrátu rozstupu mezi 2, respektive více letadly
- detekce a upozornění na možné narušení omezeného, nebezpečného či zakázaného prostoru
- detekce a zobrazení potenciálního konfliktu mezi letadly při neplánované změně letové hladiny ještě před vydaným letovým povolením ("What if" funkce<sup>9</sup>)

---

<sup>8</sup>Způsoby zajišťování rozstupů se rozumí odchýlení letadel od původní tratě (vektorování), přidělování protisměrných hladin nebo zajištění rozstupu nařízením vertikální rychlosti stoupání/klesání

<sup>9</sup>"What if" funkce řeší případy, co by se stalo, kdyby. Např. když povolím letadlo do jiné než požadované hladiny, bude s jinými letadly konfliktní?



## 4.5 O - Příležitosti

### 4.5.1 Maximální rozšíření volných tratí

Při implementaci vzdušného prostoru volných tratí by měla být snaha maximalizovat rozšíření těchto tratí.

Maximální rozšíření vzdušného prostoru volných tratí umocní silné a slabé stránky, příležitosti a negativní vlivy.

Existují 4 možné úrovně zavedení vzdušného prostoru volných tratí

- přímá trať mezi vstupním a výstupním bodem na hranici FIRu
- přímá trať na bod ležící uvnitř FIRu a dále na výstupní bod
- přímá trať z vstupního bodu na bod uvnitř FIRu a dále na bod ležící mimo FIR
- přímá trať mezi body ležící mimo FIR, vedoucí přes území českého vzdušného prostoru

Tyto úrovně se liší obtížností implementace a především obsahem aktivační zprávy ACT.

### 4.5.2 Nové nástroje pro usnadnění řízení

Veškeré standardy EUROCONTROL a následně SESAR principy rozdělují určité schopnosti a funkce systémů do dvou základních skupin. Na „nástroje“ (Tools) a varovací funkce/ bezpečnostní sítě (Safety Nets).

Typickým plánovacím „nástrojem“ je MTCD, které s určeným časovým předstihem (nebo před vstupem do MTCD zóny) upozorňuje řídicího na potenciální konflikt s jiným provozem či prostorem, který zatím bezprostředně nehrozí. MTCD ale umožňuje "what if" vyřešit konflikt s předstihem a tak omezit počet taktických řešení radarovým řídicím. Další z „nástrojů“, CORA (Conflict Resolution Advisor) pak řídicímu navrhne způsob řešení indikovaného konfliktu.

Pokud hrozící konflikt nebyl odstraněn a v okamžiku, kdy již bezprostředně hrozí, musí být řídicí varován prostřednictvím Safety Nets. Např. v případě bezprostředně hrozícího konfliktu s jiným provozem funkcí STCA (Short Term Conflict Alert).

Tedy veškeré hrozící konflikty detekované na úrovni MTCD (s provozem nebo prostorem) mohou později, pokud konflikt přetrvává, být indikovány rovněž na úrovni Safety Nets.

K indikaci na úrovni Safety Net musí dojít dříve, než k vlastnímu konfliktu (snížení minima rozstupu<sup>10</sup>) dojde a s takovým časovým předstihem, aby řídicí měl dostatek času bezprostředně hrozící konflikt odvrátit.

---

<sup>10</sup>Radarové rozstupy dělíme na 2 základní druhy - horizontální a vertikální. Základním minimem horizontálního rozstupu je 5NM, řídicí letového provozu může uplatnit minimum rozstupu 3NM v místě, kde to umožňují radarová zařízení a je to povoleno příslušným úřadem ATS. Mezi letadly vybavenými RVSM se do hladiny FL410 uplatňuje vertikální rozstup 1000ft, nad FL410 pak 2000ft. Letadla, která nejsou schopna RVSM nesmí letět mezi FL290 a FL410. Pod FL290 udržují rozstup 1000ft.

Současně ovšem musí být nastaven pouze takový časový předstih, aby řídicí neměl tendenci používat „záchrannou síť“ jako „tool“. Tedy, aby vyčkal až systém začne indikovat konflikt a teprve potom zahájil nutné akce.

Nastavení příliš velkých parametrů pro indikaci STCA má logicky za následek větší počet varování, z nichž většina nenastane. Psychologickým důsledkem těchto falešných varování je, že řídicí přestanou indikaci STCA respektovat.

Následně může nastat situace, že indikace je oprávněná a není respektována a funkce jako taková ztrácí svůj význam. Při bezchybné práci ATCO by teoreticky k indikaci na úrovni „Safety Nets“ vůbec nemělo dojít.

### 4.5.3 Optimální provádění Profile Climb a Profile Descent

Optimálním prováděním Continuous Profile Descent se rozumí klesání od optimálního ToD (Top of Descent) na IAF (Initial Approach Fix) odkud by měl následovat postup CDA (Continuous Descent Approach). U Continuous Profile Climb je postup opačný.

Zavedením vzdušného prostoru volných tratí dojde ke snížení počtu konfliktů. Z tohoto důvodu bude pro letadlo snazší plynule vystoupat do požadované cestovní hladiny, jelikož nebude muset (ve většině případů) být zastavováno z důvodu zajištění rozstupu mezi letadly ze strany řídicích letového provozu, dojde tedy ke značné úspoře paliva.

Podmiňujícím faktorem při použití všech výše popsaných postupů je spolehlivá funkce A/G Data Link, MTC D a MONA.

### 4.5.4 Uplatnění EUR trajektorie letu

Za účelem získání maximálního benefitu plynoucího ze zavedení vzdušného prostoru volných tratí, by měla být snaha maximalizovat rozšíření Free Route Airspace v celém evropském regionu EUR.

Středoevropský funkční blok vzdušného prostoru (FAB CE), do kterého spadá i Česká republika, předpokládá zavedení vzdušného prostoru volných tratí mezi více státy (*FAB CE x-Border Free Route Project*). Dle plánu implementace FRAPRA je tato činnost naplánovaná v období 2018+.

### 4.5.5 Zvýšení propustnosti vzdušného prostoru

Po zavedení vzdušného prostoru volných tratí a napřímění horizontální trajektorie letu dojde ke snížení počtu konfliktů v porovnání s lety po klasických pevných tratích. Dojde k uvolnění kapacity řídicích letového provozu, kteří budou schopni za stejný časový interval "obsloužit" více letadel - zvýší se kapacita a propustnost vzdušného prostoru.

## 4.6 T - Hrozby

### 4.6.1 Změna v analýze bezkonfliktnosti letů

Hlavní změnou v analýze konfliktů je nový nástroj, který bude nutné využívat - MTC D (popsaný výše v kapitole 4.4.2).

Napřimění tratí vyvolává nutnost sledování tratí každého jednotlivého letadla a očekávat konflikty i jinde než na pevných tratích. Řídící letového provozu se nemůže spolehnout na protisměrné tratě, na kterých je vertikální rozstup zpravidla zajištěn přidělováním letových hladin.

Na druhou stranu bude snažší využívání velmi oblíbeného nástroje řídicích letového provozu - Separation Tool. Tento nástroj predikuje místo a velikost nejmenšího horizontálního a vertikálního rozstupu mezi dvěma letadly. Informaci pro výpočet nejmenšího místa rozstupu tento nástroj bere z aktuálního kurzu a rychlosti. Nebere v úvahu údaje z letového plánu - plánovanou trať či rychlost.

#### **4.6.2 Snížení letových poplatků za přeletovou jednotku**

Přeletové poplatky se odvíjí od vzdálenosti tratě, která je uvedena v letovém plánu. Zkrácením této vzdálenosti dojde i ke snížení poplatků, které musí provozovatel uhradit.

Tato skutečnost se promítne taktéž na stranu poskytovatele letových provozních služeb, kteří kvůli implementaci FR, které jsou součástí letového plánu, účtují nižší poplatky.

#### **4.6.3 Nutnost Změny LOAs a postupů**

Stávající koordinační dohody (LoA) nevyhovují požadavkům implementace vzdušného prostoru volných tratí. Z tohoto důvodu je nezbytné přizpůsobit tyto akty potřebám, které z implementace FR vyplývají.

Po zavedení vzdušného prostoru volných tratí napříč SES, bude nutné nahradit nynější koordinační podmínky, vztahující se k jednotlivým vstupním či výstupním bodům, podmínkami, které budou uplatňovány v určitém bloku hranic mezi sousedními FIRy.

S koordinačními dohodami nesouvisí pouze koordinační podmínky, ale i jednotlivé koordinační postupy. I tyto postupy se stanou nevyhovujícími po zavedení vzdušného prostoru volných tratí.

#### **4.6.4 Problémy s plánováním strategie a posuzováním zátěže**

Problémy s plánováním strategie a posuzováním zátěže se objeví ve chvíli zavedení vzdušného prostoru volných tratí napříč jednotným evropským nebem. Skutečnou trať, kudy letadlo poletí, se dané středisko letových provozních služeb dozví až s příchodem zprávy ACT, tj. 15 min před vstupem letadla do FIRu. Tento fakt velmi komplikuje strategické plánování řídicího letového provozu a posuzování zátěže.

### **4.7 Vyhodnocení**

Zavedení vzdušného prostoru volných tratí s sebou přináší spoustu výhod, ale i jistá úskalí.

Největší hrozba při implementaci tohoto projektu souvisí s návyky řídicích letového provozu při létání po pevných tratích v souvislosti s vyhledáváním a řešením konfliktů a zavedením nových nástrojů při aplikaci FR.

Velkým problémem při zavedení vzdušného prostoru volných tratí je nepřesné plánování strategie a posuzování zátěže. Celý tento problém vyplývá z faktu, že o skutečné trati letu dostanou letové provozní služby informace až z koordinační zprávy ACT, tj. 15 min před vstupem do prostoru odpovědnosti. Let tedy může probíhat přes jiné sektory, kde původně nebyl očekáván.

Z tohoto problému vyplývá nutnost změny koordinačních dohod (LOAs) a jejich přizpůsobení prostoru volných tratí.

I přes výše uvedená negativa, zavedení vzdušného prostoru volných tratí disponuje velkým množstvím pozitiv, která se projeví především na straně provozovatele.

Z důvodu zavedení přímých tratí dojde ke snížení plánované letové vzdálenosti mezi dvěma body. Tento fakt vyústí ve snížení přeletových poplatků, která se odvíjí od plánované tratě v letovém plánu. Ušetří náklady provozovatelů leteckých společností, sníží ale příjem poskytovatelů letových provozních služeb.

Přímé tratě mají menší negativní dopad na životní prostředí z důvodu nižší produkce emisních plynů, které urychlují globální oteplování a zužují vrstvu ozonu v atmosféře.

Po zavedení vzdušného prostoru volných tratí a napřímění horizontální trajektorie letu dojde ke snížení počtu konfliktů v porovnání s lety po klasických tratích. Dojde k uvolnění kapacity řídicích letového provozu, kteří budou schopni se postarat o větší množství letadel za stejný časový interval - zvýší se kapacita a propustnost vzdušného prostoru.

Nevyhnutelné je taktéž zavedení nových nástrojů, především na detekci střednědobého konfliktu (MTCDD), který velmi usnadní práci řídicích letového provozu. S pomocí jejich dílčích funkcí je snazší uplatnění "Profile climb" a "Profile descend".

I přes veškerá úskalí, která se se zavedením vzdušného prostoru volných tratí objeví, převažují pozitivní aspekty, které tato implementace přinese. Většinu slabých stránek a hrozeb lze eliminovat preventivními opatřeními a přípravou.

Budoucnost konceptu vzdušného prostoru volných tratí se nachází v maximálním jeho rozšíření v rámci EUR regionu. Čím více bude vzdušných prostor volných tratí rozšířen, tím více benefity bude disponovat.

## 4.8 Předpoklad úspěšnosti implementace FRA

Doporučení slouží k bezproblémovému zavedení vzdušného prostoru volných tratí, bez přílišných komplikací. Tato doporučení můžeme shrnout do několika oblastí

- Pozvolná implementace
- Změna výcviku ATCO
- Změna definice prostoru, změna sektorizace a infrastruktury
- Změna postupů a koordinačních dohod (LOA)
- Nové nástroje na usnadnění řízení na FR

Postupná implementace v rámci celého EUR regionu je jedním z předpokladů k úspěšnému zavedení vzdušného prostoru volných tratí. Postupnou implementací je myšleno prvotní zavedení časově a výškově omezených publikovaných plánovatelných přímých tratí, poté zavedení výškově omezených přímých tratí s využitelností H24 a nakonec neomezené plánovatelné H24 volné trati.

Dalším předpokladem úspěšného zavedení vzdušného prostoru volných tratí je změna výcviku řídicích letového provozu a přeškolení stávajících ATCO. Nynější výcvik je koncipován tak, aby se ATCO soustředil především na místa z tzv "atlasu konfliktů"- místa, kde dochází k potenciálnímu sblížení letadel.

Pro usnadnění přechodu stylu řízení letového provozu mezi klasickými a volnými trati, existují pomocné nástroje. Nejdůležitějším z nich je MTCD (Medium Term Conflict Detection) - nástroj na detekci střednědobého konfliktu.

Změna definice prostoru, sektorizace a infrastruktury a její přizpůsobení vzdušnému prostoru volných tratí je více než žádoucí. Napřímením tratí a posunutím míst konfliktů dojde k nerovnoměrnému zatížení jednotlivých sektorů, změna sektorizace je tudíž nevyhnutelná.

Nevyhnutelná je taktéž změna koordinačních dohod (LOA). Při aplikaci přímých tratí na jednotlivé vnitřní body ve FIRu za současného ignorování vstupních či výstupních bodů na společné hranici mezi dvěma FIRy, zanikají koordinační podmínky platné na jednotlivých vstupních či výstupních bodech. Tyto podmínky bude nutné převést na jednotlivé části společné hranice, kudy letadlo s danou podmínkou může vstupit do FIRu.

Pokud se při implementaci vzdušného prostoru volných tratí příslušný subjekt bude řídit doporučeními, nepředpokládají se žádné komplikace při zavádění tohoto konceptu.

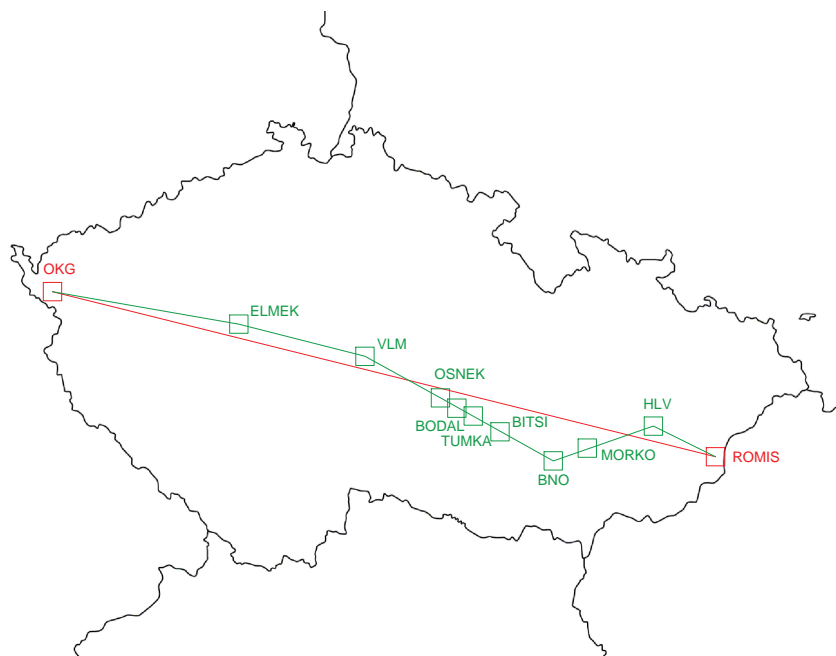
## Kapitola 5

# Porovnání efektivity provozu na volných tratích oproti klasickým tratím

Tato kapitola slouží jako důkaz pro potvrzení výhodnosti zavedení FRA.

### 5.1 Úspora vzdálenosti, paliva a času

Analýza úspory vzdálenosti, paliva a času je provedena pro trať OKG-ROMIS, která je zobrazena na obrázku 5.1. Červeně je znázorněna přímá trať, zeleně pak pevná trať.



Obrázek 5.1: Trať OKG - ROMIS

Z tabulky zeměpisných souřadnic význačných bodů LKAA z přílohy A vybereme ty, které jsou pro nás v tomto případě významné - vyskytují se na trati OKG-ROMIS. Tabulka význačných bodů je následující:

Tabulka 5.1: Zeměpisné souřadnice pro trať OKG - ROMIS

název bodu	zeměpisná délka	zeměpisná šířka
OKG	50 03 54,53 N	012 24 20,66 E
ELMEK	49 54 14,04 N	014 01 47,55 E
VLM	49 42 15,38 N	015 04 00,27 E
OSNEK	49 30 47,50 N	015 38 16,82 E
BODAL	49 27 50,79 N	015 46 57,73 E
TUMKA	49 24 28,42 N	015 56 50,16 E
BITSI	49 18 29,80 N	016 14 10,73 E
BNO	49 09 00,23 N	016 41 33,29 E
MORKO	49 13 08,82 N	017 01 34,81 E
HLV	49 19 22,27 N	017 31 42,23 E
ROMIS	49 07 37,61 N	018 06 39,42 E

Pro výpočet ortodromické vzdálenosti využijeme následující vzorec:

$$\cos d = \cos(90^\circ - \psi_A)\cos(90^\circ - \psi_B) + \sin(90^\circ - \psi_A)\sin(90^\circ - \psi_B)\cos(\lambda_B - \lambda_A) \quad (5.1)$$

, kde  $d$  představuje ortodromickou vzdálenost mezi body,  $\psi_A$  zeměpisnou šířku prvního bodu,  $\psi_B$  zeměpisnou šířku druhého bodu,  $\lambda_A$  zeměpisnou délku prvního bodu,  $\lambda_B$  zeměpisnou délku druhého bodu

Dosazením hodnot zeměpisných souřadnic do vzorce (5.1) získáváme tabulku 5.2.

Tabulka 5.2: Ortodromické vzdálenosti trati OKG - ROMIS

název prvního bodu	název druhého bodu	vzdálenost v NM
OKG	ELMEK	63,400
ELMEK	VLM	41,900
VLM	OSNEK	24,995
OSNEK	BODAL	6,362
BODAL	TUMKA	7,253
TUMKA	BITSI	12,780
BITSI	BNO	20,241
BNO	MORKO	13,729
MORKO	HLV	20,617
HLV	ROMIS	25,671
		<b>236,949</b>

Ze vzorce (5.1) taktéž vypočítáme ortodromickou vzdálenost přímé trati mezi vstupním a výstupním bodem. Tuto vzdálenost porovnáme se součtem vzdáleností mezi jednotlivými body tratě letových provozních služeb z tabulky 5.2. Výpočty vzdáleností trati OKG-ROMIS se nachází v tabulce 5.3.

Tabulka 5.3: Výpočet vzdálenosti pro trať OKG - ROMIS

vstupní bod	výstupní bod	ANS trat v NM	DCT trat v NM	rozdíl
OKG	ROMIS	236,949	228,840	<b>8,109</b>

Výpočet vzdáleností, včetně rozdílu vzdáleností mezi volnými tratěmi a tratěmi letových provozních služeb pro všechny publikované volné tratě v LKAA se nachází v tabulce 5.4.

Tabulka 5.4: Výpočty vzdáleností publikovaných volných tratí

název bodu	název bodu	trať(NM)	DCT(NM))	rozdíl(NM)
LALES	VARIK	224,683	224,196	0,487
DESEN	VALPI	77,4083	76,6	0,808
HDO	ODNEM	166,888	164,918	1,970
DITIS	OKG	126,772	126,75	0,022
TOMTI	OKG	124,05	122,375	1,675
BEPAS	LAGAR	138,584	134,591	3,993
DITIS	VARIK	136,638	135,273	1,365
DITIS	RAPET	136,608	133,058	3,550
LALES	RAPET	224,74	223,791	0,949
MAKAL	OKG	229,982	229,006	0,976
LALES	OKG	220,047	218,934	1,113
OKG	LAGAR	123,517	121,357	2,16
LALES	HDO	179,676	178,831	0,845
TOMTI	NIRGO	133,167	127,967	5,2
DESEN	MIKOV	110,851	95,707	15,144
AGNAV	LAGAR	129,64	128,858	0,782
TOMTI	RUDAP	135,477	128,986	6,491
TOMTI	GOLOP	38,936	37,439	1,497
LOKVU	TOMTI	137,331	126,443	10,888
LOKVU	HDO	137,278	135,604	1,674
HDO	ROMIS	186,061	180,193	5,868
PADKA	VLM	134,127	125,269	8,858
PADKA	RAPET	230,893	229,427	1,466
UPEGU	RODUX	115,798	114,597	1,201
UPEGU	TOMTI	123,059	119,321	3,738



BEPAS	PADKA	198,157	196,374	1,783
BEPAS	TOMTI	142,038	141,215	0,823
LALES	RODUX	176,072	172,651	3,421
LALES	VEXIL	217,811	217,455	0,356
LALES	NIRGO	313,901	181,953	131,948
LALES	RUDAP	239,264	176,166	63,098
PADKA	VEXIL	237,191	218,836	18,355
PADKA	RUDAP	231,367	199,507	31,860
PADKA	NIRGO	229,057	203,376	25,681
OKG	MAKAL	265,308	229,006	36,302
OKG	ROMIS	236,949	228,84	8,109
MAKAL	RODUX	175,541	170,322	5,219
MAKAL	HDO	179,823	177,595	2,228
MAKAL	VARIK	235,355	232,705	2,650
MAKAL	RAPET	235,326	232,976	2,350
MAKAL	VEXIL	228,482	224,873	3,609
MAKAL	NIRGO	237,1	197,016	40,084
MAKAL	RUDAP	239,411	191,908	47,503
UPEGU	HDO	117,236	113,67	3,566
PADKA	VARIK	230,505	228,045	2,460

### 5.1.1 Statistické výpočty

Podkladem pro statistické výpočty je tabulka 5.4 Výpočty vzdáleností publikovaných volných tratí (z předchozí kapitoly) a četnost využití přímých tratí z přílohy C.

#### Aritmetický průměr vzdáleností v NM

$$\bar{x} = \frac{1}{\text{početDCT}} \sum \text{rozdil}(NM) = 11,225NM \quad (5.2)$$

#### Vážený průměr vzdáleností v NM

$$\bar{x} = \frac{1}{\text{početDCT}} \sum \text{rozdil}(NM) \cdot \text{četnost využití přímé tratě} = 1,120NM \quad (5.3)$$

#### Celkové množství ušetřených NM během období pozorování

$$d = \sum \text{početDCT} \cdot \text{rozdil}(NM) = 46789,18NM \quad (5.4)$$

#### Celkový počet využitých DCT tratí za pozorované období

$$n = \sum \text{četnost využití přímé tratě} = 41777 \quad (5.5)$$

### 5.1.2 Výpočet úspory paliva a času

Pro výpočet úspory paliva a času musíme znát několik aspektů - a to cestovní rychlost, spotřebu paliva a maximální počet cestujících pro daný typ letadla. Tyto statistické výpočty určíme pro 3 druhy letadel - ATR 42-300 (AT43), Boeing 737-800 (B738) a Airbus A380-800 (A388).

Cestovní rychlosti letadel čerpáme z EUROCONTROL databáze letadel[6], spotřebu paliva a počet cestujících z průvodní dokumentace k jednotlivým typům letadel (ATR43[2], B738[3], A388[1]). Vybraná data naleznete v tabulce 5.5: Parametry ACFT pro statistické výpočty.

Tabulka 5.5: Parametry ACFT pro statistické výpočty

Druh ACFT	Rychlost(kt)	Spotřeba paliva(kg/km)	Počet PAX
AT43	255	1,26	48
B738	460	3,59	162
A388	520	13,78	544

**Celkovou spotřebu paliva** vypočteme dle vzorce

$$CSP = SP \cdot AP \cdot 1,852 \quad (5.6)$$

, kde  $CSP$  je celková spotřeba paliva,  $SP$  je spotřeba paliva pro dané letadlo z tabulky 5.5,  $AP$  je aritmetický průměr vzdáleností v NM (5.2). Jelikož spotřeba paliva je uvedena v kg/km, musíme převést aritmetický průměr vzdáleností na km. 1 NM odpovídá 1,852km, proto musíme součin  $AP$  a  $SP$  vynásobit konstantou 1,852.

**Spotřebu paliva na osobu** určíme ze vzorce

$$SPO = CSP/PP \quad (5.7)$$

, kde  $CSP$  je celková spotřeba paliva,  $PP$  je počet cestujících z tabulky 5.5.

**Čas** určíme z definice jednotky rychlosti, uzlu. Uzel je definován jako NM/h. Pokud známe aritmetický průměr vzdáleností v NM ( $AP$ ), snadno určíme čas pro jednotlivé typy letadel

$$t = \frac{AP}{v(NM/h)} = \frac{AP}{v(NM/min)} \cdot 60 \quad (5.8)$$

, kde  $t$  představuje čas,  $AP$  je aritmetický průměr vzdáleností v NM (5.2),  $v$  je rychlost

Po dosazení známých hodnot do vzorců (5.6), (5.7) a (5.8) získáme celkovou spotřebu paliva, spotřebu paliva na osobu a čas.

Výsledky jednotlivých výpočtů pro vybrané typy letadel (AT43, B738, A388) se nachází v tabulce 5.6.

Tabulka 5.6: Výpočet úspory paliva a času

Druh ACFT	Celková spotřeba paliva(kg)	Spotřeba paliva/osoba(kg)	Čas(min)
AT43	2,613	0,054	0,264
B738	7,446	0,046	0,146
A388	28,582	0,053	0,129

### 5.1.3 Dopad na životní prostředí

Letecká doprava vyprodukuje velké množství emisí, mezi nimiž např. CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> nebo H<sub>2</sub>O. Tyto sloučeniny se podílejí na zmenšování ozónové vrstvy a na tvorbě chemických procesů, jež vedou ke skleníkovému efektu.

Tabulka 5.7, obsahující průměrnou produkci látek, které negativně ovlivňují životní prostředí - vyplývá z dokumentu Environmental Benefit Analysis[11]. Tento dokument vypracovala a vydala organizace EUROCONTROL.

Tabulka 5.7: Průměrná produkce emisí v závislosti na uletěné vzdálenosti

Produkce CO <sub>2</sub>	Produkce H <sub>2</sub> O	Produkce SO <sub>2</sub>	Produkce BEN
3,149 kg/km	1,230 kg/km	0,84 · 10 <sup>-3</sup> kg/km	0,024 kg/km

Dle jednotlivých typů letadel spočítáme jejich průměrnou produkci. Výpočty vycházejí ze vzorců níže.

**Produkce CO<sub>2</sub> pro daný typ letadla** určíme ze vzorce

$$ACFTCO_2 = PCO_2 \cdot CSP \quad (5.9)$$

, kde *CSP* je celková spotřeba paliva (tabulka 5.5), *PCO<sub>2</sub>* je průměrná produkce CO<sub>2</sub> z tabulky 5.7.

**Produkce H<sub>2</sub>O pro daný typ letadla** určíme ze vzorce

$$ACFTH_2O = PH_2O \cdot CSP \quad (5.10)$$

, kde *CSP* je celková spotřeba paliva (tabulka 5.5), *PH<sub>2</sub>O* je průměrná produkce H<sub>2</sub>O z tabulky 5.7.

**Produkce SO<sub>2</sub> pro daný typ letadla** určíme ze vzorce

$$ACFTSO_2 = PSO_2 \cdot CSP \quad (5.11)$$

, kde *CSP* je celková spotřeba paliva (tabulka 5.5), *PSO<sub>2</sub>* je průměrná produkce SO<sub>2</sub> z tabulky 5.7.

**Produkce BEN pro daný typ letadla** určíme ze vzorce

$$ACFTBEN = PBEN \cdot CSP \quad (5.12)$$

, kde  $CSP$  je celková spotřeba paliva (tabulka 5.5),  $PBEN$  je průměrná produkce BEN z tabulky 5.7.

Jednotlivé výpočty jsou shrnuty v tabulce 5.8: Výpočet produkce emisí.

Tabulka 5.8: Výpočet produkce emisí

Druh ACFT	Produkce CO2	Produkce H2O	Produkce SO2	Produkce BEN
AT43	8,230	3,215	$2,195 \cdot 10^{-3}$	0,062
B738	23,449	9,159	$6,255 \cdot 10^{-3}$	0,176
A388	90,006	35,156	$24,009 \cdot 10^{-3}$	0,677

Abychom mohli porovnat dopad produkce jednotlivých typů letadel na životní prostředí, přepočítáme celkovou produkci letadla na jednoho cestujícího. Jednotlivé ukazatele určíme ze vzorců níže.

**Produkce CO2 pro daný typ letadla na jednoho cestujícího** určíme ze vzorce

$$ACFTCO2 = \frac{PCO2 \cdot CSP}{PP} \quad (5.13)$$

, kde  $CSP$  je celková spotřeba paliva (tabulka 5.5),  $PCO2$  je průměrná produkce CO2 z tabulky 5.7. a  $PP$  je počet cestujících z tabulky 5.5

**Produkce H2O pro daný typ letadla na jednoho cestujícího** určíme ze vzorce

$$ACFTH20 = \frac{PH2O \cdot CSP}{PP} \quad (5.14)$$

, kde  $CSP$  je celková spotřeba paliva (tabulka 5.5),  $PH2O$  je průměrná produkce H2O z tabulky 5.7. a  $PP$  je počet cestujících z tabulky 5.5

**Produkce SO2 pro daný typ letadla na jednoho cestujícího** určíme ze vzorce

$$ACFTSO2 = \frac{PSO2 \cdot CSP}{PP} \quad (5.15)$$

, kde  $CSP$  je celková spotřeba paliva (tabulka 5.5),  $PSO2$  je průměrná produkce SO2 z tabulky 5.7. a  $PP$  je počet cestujících z tabulky 5.5

**Produkce BEN pro daný typ letadla na jednoho cestujícího** určíme ze vzorce

$$ACFTBEN = \frac{PBEN \cdot CSP}{PP} \quad (5.16)$$

, kde  $CSP$  je celková spotřeba paliva (tabulka 5.5),  $PBEN$  je průměrná produkce BEN z tabulky 5.7. a  $PP$  je počet cestujících z tabulky 5.5

Produkce emisí přepočítaná na jednoho cestujícího pro vybrané druhy letadel se nachází v tabulce 5.9.

Z tabulky vyplývá, že pokud porovnáme vybrané druhy letadel s ohledem na produkci emisí na jednoho cestujícího, B737-800 se zdá být nejméně zatěžující životní prostředí. Pozitivní se zdá být i fakt, že B737-800 patří mezi nejrozšířenější letadla po celém světě.

Tabulka 5.9: Výpočet produkce emisí na cestujícího

Druh ACFT	Produkce CO2	Produkce H2O	Produkce SO2	Produkce BEN
AT43	0,171	0,067	$4,574 \cdot 10^{-5}$	$1,290 \cdot 10^{-3}$
B738	0,145	0,057	$3,861 \cdot 10^{-5}$	$1,089 \cdot 10^{-3}$
A388	0,165	0,065	$4,413 \cdot 10^{-5}$	$1,245 \cdot 10^{-3}$

#### 5.1.4 Závěr

Výpočtem úspory paliva pro všechny publikované přímé tratě dostanu cenné informace, které poslouží pro statistickou analýzu. Tím získáme aritmetický průměr ušetřené vzdálenosti 11,225NM a vážený aritmetický průměr ušetřené vzdálenosti roven 1,120NM. Porovnáním těchto dvou hodnot zjistím, že nejvyužívanější tratě jsou navrženy efektivně a rozdíl vzdálenosti letu po pevné trati a po trati přímé není nijak veliký. S úsporou vzdáleností souvisí i úspora času, která se pohybuje v jednotkách desetin minut.

Produkce emisí, které mají negativní dopad na životní prostředí, je závislá na vzdálenosti a spotřebě paliva. Při úspoře vzdálenosti, která je rovna váženému aritmetickému průměru, tj. 1,120NM, je produkce emisí snížena o 3,4%.

## 5.2 Posunutí míst konfliktů

Zavedením vzdušného prostoru volných tratí dojde k napřimení tratí letadel a tím dojde k posunutí míst konfliktů.

### 5.2.1 Stav před implementací vzdušného prostoru volných tratí

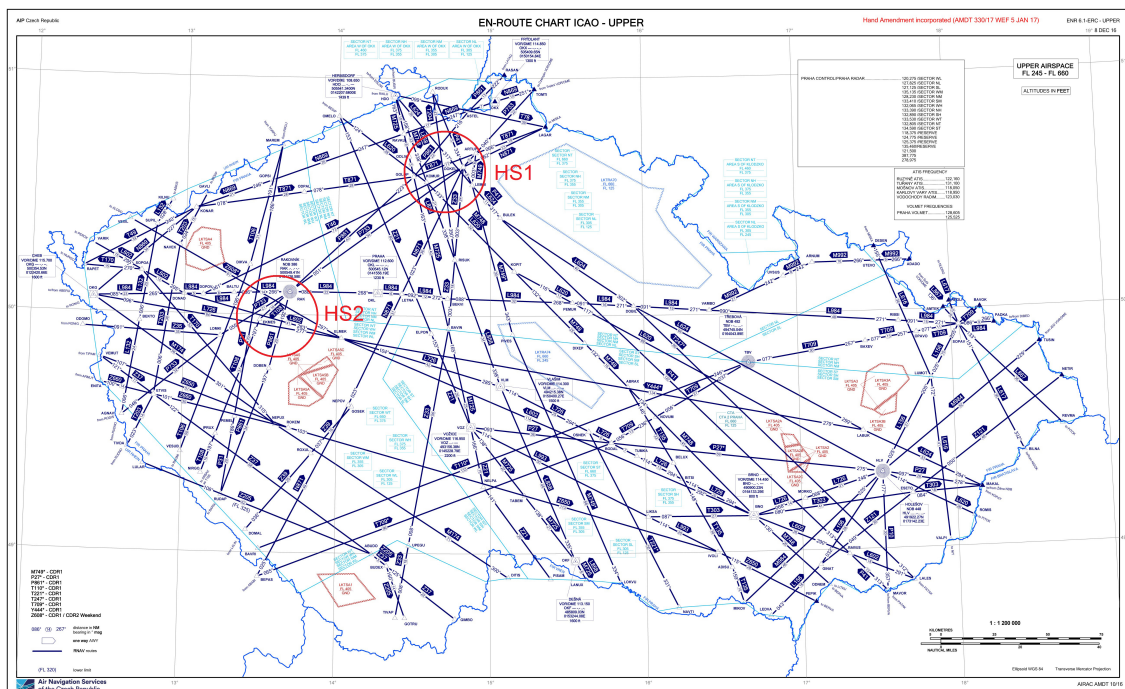
Vzdušný prostor FIRu Praha disponuje sektorizací, jež vyhovuje nynější kapacitě vzdušného prostoru, provozu na tratích letových provozních služeb.

Na obrázku 5.2 jsou označeny tzv. hotspots, místa se zvýšeným výskytem konfliktů.

U vzdušného prostoru s tpevnými tratěmi existují 2 kritická místa - HS1 a HS2.

Tato hlavní místa konfliktů jsou umístěna uprostřed nynějších sektorů, jejich vzdálenost od sektorových hranic a hranic s ostatními FIRy je větší než 5NM, není tedy nutná koordinace s okolními stanovišti při použití vhodného nástroje k řešení konfliktu.

Na druhou stranu tratě letových provozních služeb výrazně omezují kapacitu vzdušného prostoru.



Obrázek 5.2: Místa konfliktů LKAA

**HS1** - v okolí bodů KOMUR, DOKEL, GOLOP a ARTUP

Toto kritické místo vzniká především kvůli TRA37 (dřívější TRA70), kde při její aktivaci dochází k vojenské činnosti či záletům letadel vodochodského letiště.

Z tohoto důvodu se nad oblasti Krkonoš nevyskytují žádné tratě letových provozních služeb - to s sebou přináší jistá negativa i pozitiva.

Hlavní pozitivum se projeví při aktivaci dočasně rezervovaného prostoru TRA37. V takovém případě není nutno zajišťovat rozstup letadel od tohoto prostoru, jelikož všechny tratě letových provozních služeb jsou od tohoto prostoru separovány minimální vzdáleností 5NM.

Na druhou stranu je ale řídicí letového provozu značně limitován při řešení konfliktů vektorováním. Aby nenarušil tento prostor, může letadlo vektorovat pouze doleva, což při větším počtu konfliktních letadel není nejhodnějším řešením. Pokud ale TRA37 není aktivována, tento konflikt je většinou řešen napřimením tratě alespoň jednoho z letadel.

**HS2** - v okolí bodu RAK

Toto místo konfliktu vzniklo potřebou vyhnout se dočasně vyhrazeným prostorům - TSA4 a TSA5. To s sebou nese stejné výhody a nevýhody jako výše popsané kritické místo, HS1.

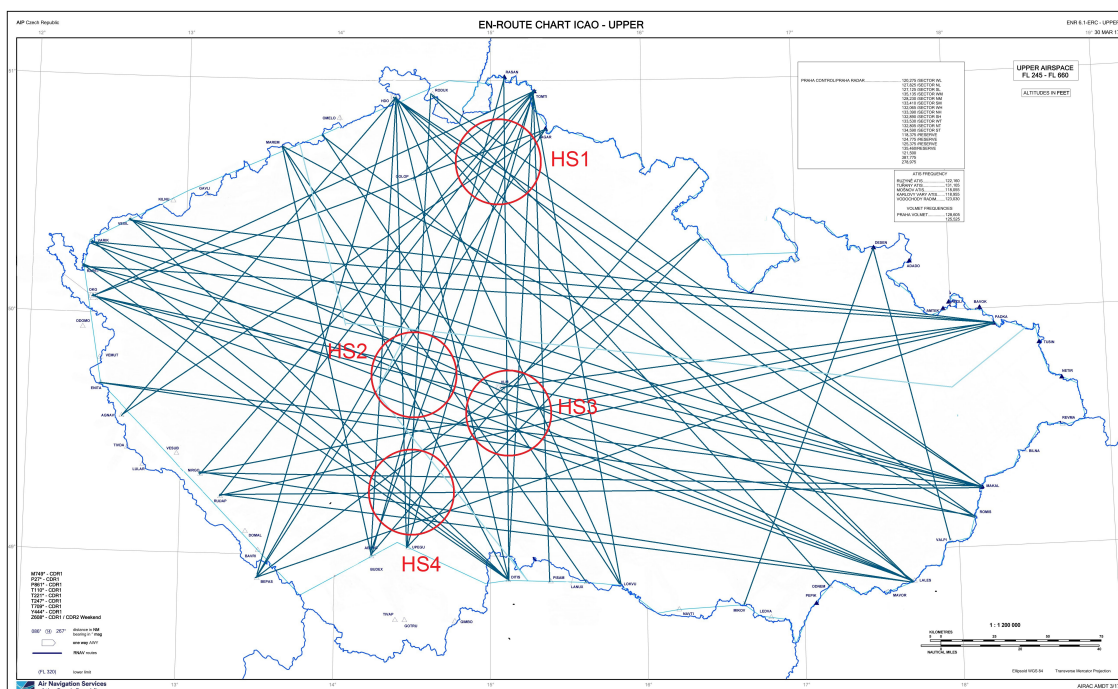
Navzdory všem nevýhodám vzdušného prostoru s tratěmi letových provozních služeb, se řídicí letového provozu mohou spolehnout na protisměrné tratě, což velmi ulehčuje vyhledávání skutečných konfliktů.

## 5.2.2 Stav po implementaci vzdušného prostoru volných tratí

Nynější stav infrastruktury českého vzdušného prostoru nevyhovuje požadavkům FRA.

Zavedením vzdušného prostoru volných tratí a tím napřímením trajektorií letadel dojde k rozproštění konfliktů do větší plochy. Dojde k posunutí míst konfliktů do jiných částí vzdušného prostoru, kde se před implementací nevyskytovala.

Na obrázku 5.3 vidíme stav vzdušného prostoru po implementaci FRA, při vyobrazení všech plánovatelných přímých tratí. Vidíme i tzv "hotspots" neboli místa s větším výskytem konfliktů - HS1, HS2, HS3 a HS4. Tato místa označena červeným kruhem jsou detailněji popsána níže.



Obrázek 5.3: Místa konfliktů FRAPRA

Z obrázku vyplývá několik aspektů, které dokazují, že nynější stav infrastruktury není vhodný k úplnému zavedení vzdušného prostoru volných tratí.

**HS1** - v okolí nynějšího bodu ARTUP

Toto kritické místo je velmi podobné HS1 v předešlé kapitole.

Napřímením tratí přes TRA37 dojde k posunutí tohoto konfliktního místa více na severovýchod, blíže k hranicím FIRu.

Kritické místo s větším výskytem konfliktů se vyskytuje blízko sektorových hranic, což při jejich řešení vyžaduje dodatečnou koordinaci mezi stanovišti letových provozních služeb. HS1 se vyskytuje v blízkosti sektorových hranic mezi Německem a Polskem, což může vyžadovat koordinaci s oběma stanovišti.

Při aktivaci TRA37 bude muset řídicí letového provozu letadlo vektorovat (aby nedošlo k narušení prostoru), toto místo se ztotožní s hotspotem HS1 v případě před implementací vzdušného prostoru letových provozních služeb.

**HS2** - v okolí současného bodu ELPON Toto kritické místo se nachází v blízkosti společné hranice sektorů West, South a North. Nedochází zde k většímu výskytu konfliktů (v porovnání s HS1 a HS3), nicméně tento bod je význačný především svou polohou.

I když výskyt konfliktů v tomto místě není tak častý, když se nějaký objeví, může to vyústit ve složitě řešení a zdlouhavou koordinaci s okolními sektory.

**HS3** - v okolí současného bodu VOZ

Bod HS3 se nachází v blízkosti hranice mezi jižním a západním sektorem vzdušného prostoru České republiky.

VOZ je významný bod českého vzdušného prostoru. Před implementací vzdušného prostoru FR tratí byl tento bod uzlem tratí letových provozních služeb. Ale i po napřímení tratí se zde letové tratě kříží více, než v ostatních částech vzdušného prostoru.

**HS4** - v okolí nynějších bodů UPEGU a ABUDO

I když se toto kritické místo nachází na území České republiky a vzdálenost od rakouských hranic je větší než 5NM, vyskytuje se blízko hranic rakouského vzdušného prostoru.

Vše je způsobeno tzv. Budex area, což je vzdušný prostor České republiky delegovaný v hladinách od FL125 - FL660 středisku Austro Control GmbH. [17]

Na hranici tohoto prostoru leží již zmiňované body ABUDO a UPEGU.

### 5.2.3 Návrh nové sektorizace

Se zavedením vzdušného prostoru volných tratí ve FIRu Praha je nutné změnit také sektorizaci, která již nové koncepci nevyhovuje. Současná sektorizace se nachází na obrázku 5.4. Hranice mezi sektory se liší dle vertikální sektorizace - zelená čára představuje hranici mezi jednotlivými LOW sektory, červená pak hranici mezi MIDDLE, HIGH a TOP sektory<sup>1</sup>.

Na základě podkapitol 5.2.1 a 5.2.2, které pojednávají o místech konfliktů před a po zavedení vzdušného prostoru volných tratí, můžeme navrhnout sektorizaci tak, aby se místa konfliktů nacházela uprostřed sektoru, více než 5NM od sektorových hranic.

Pro stanovení nové sektorizace, posoudíme hranice mezi jednotlivými sektory jednotlivě, tzn. sektorové hranice West - North, North - South a South - West.

Hranice sever - západ (N-W) Stávající hranice vyhovuje požadavkům na FRA.

Hranice sever - jih (N-S) Stávající hranice vyhovuje požadavkům na FRA.

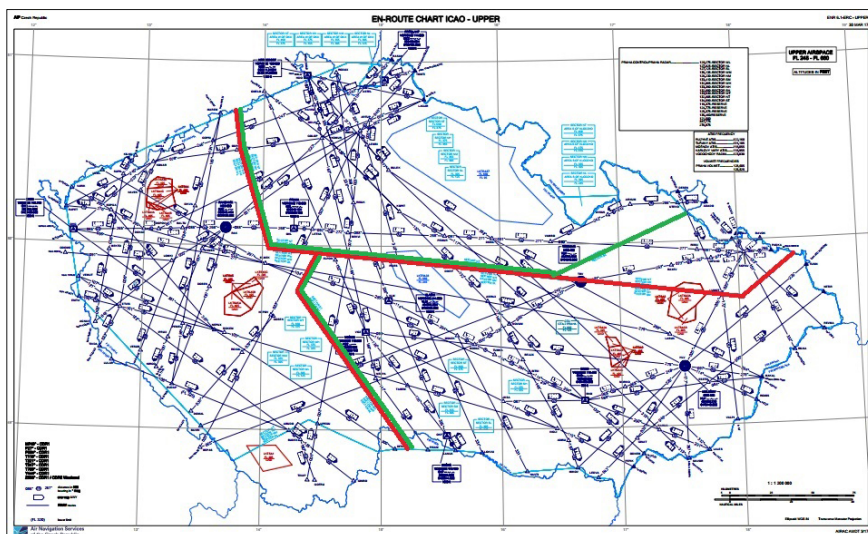
Hranice jih - západ (S-W) Nutnost posunout hranice sektoru více na západ.

Požadavkům na nové horizontální dělení vzdušného prostoru odpovídá předchozí sektorizace (N-S-E-W). Tato sektorizace je zobrazena na obrázku 5.4.

---

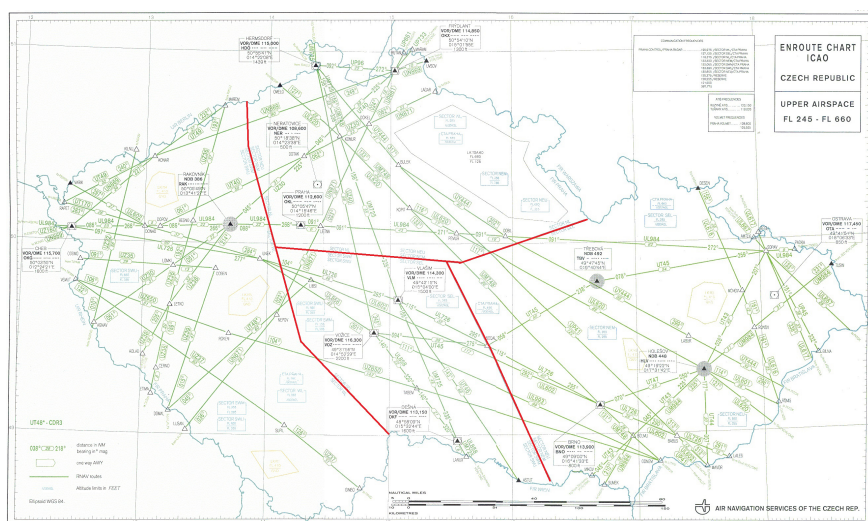
<sup>1</sup>Low (FL125-FL305), Middle (FL305-FL355), High (FL355-FL375) a Top (FL375-FL660)





Obrázek 5.4: Nynější sektorizace FIR Praha

Dle mého názoru je nejlepším řešením problému se sektorizací návrat k předchozímu dělení vzdušného prostoru (obrázek 5.5), rozdělení na 4 horizontální sektory a posunutí jejich hranic.



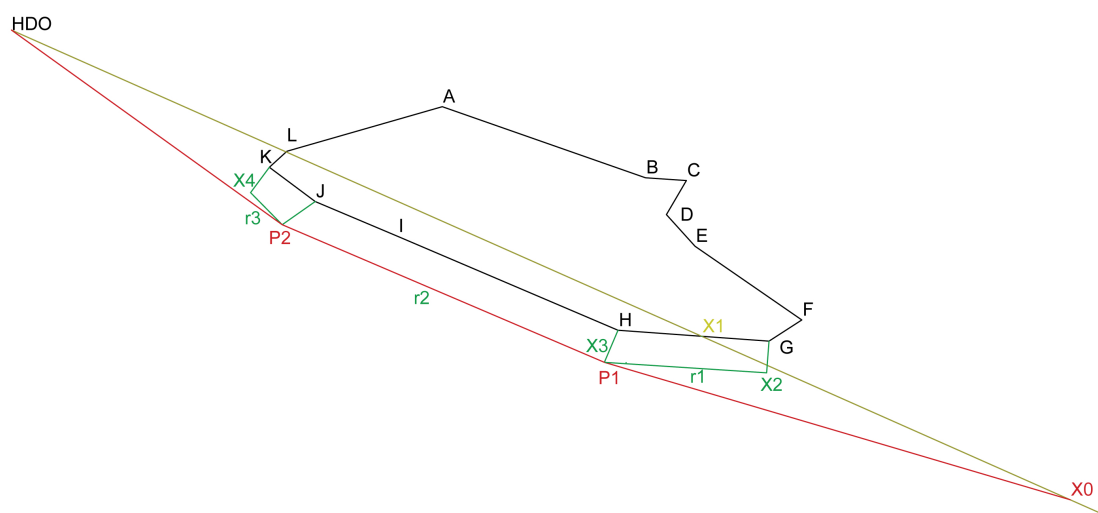
Obrázek 5.5: Předchozí sektorizace LKAA

### 5.3 Rozdíl vzdálenosti přímé tratě při změně kurzu řídicím letového provozu z důvodu aktivace prostoru TRA37 (TRA70) v porovnání se vzdáleností po pevné trati

Pevná trať letových provozních služeb mezi body HDO-MAKAL je separována od dočasně rezervovaného prostoru TRA37, z tohoto důvodu je uletěná vzdálenost po této trati shodná s již vypočítanou vzdáleností z tabulky 5.4(kapitola 5.1.)

Ve vzdušném prostoru volných tratí, kde se uplatňuje přímá trať HDO-MAKAL, musí řídicí letového provozu zajistit rozstup mezi letadlem a aktivovaným prostorem TRA37 vektorováním tak, aby jejich nejmenší vzdálenost byla větší 5NM.

V této kapitole porovnám vzdálenosti uletěné trati mezi pevnou tratí letových provozních služeb a vzdálenosti nejmenší vektorované trati (od přímé trati HDO-MAKAL, z důvodu aktivace prostoru).



Obrázek 5.6: TRA37

Obrázek 5.6 představuje náčrt, který poslouží k vyřešení této úlohy.

Body A-M definují TRA37, jejich zeměpisné souřadnice jsou uvedeny v tabulce 5.10. Bod M je totožný s bodem A, z tohoto důvodu není uveden na obrázku 5.6. Informace o těchto bodech jsou čerpány z Letecké informační příručky. [17]

Bod X1 je průsečík přímé tratí HDO-MAKAL (tato trať pokračuje dále za bod X0) s přímkou HG.

Body X2, X3 a X4 leží na kolmici k příslušným přímkám ve vzdálenosti 5NM.

Body P1 a P2 jsou průsečíky přímek rovnoběžných s HG, HJ a JK.

Na takto malé ploše zeměkoule není téměř žádný rozdíl mezi povrchem koule (geoidu) a rovinou. Z tohoto důvodu pomínu zakřivení země a povrch zkoumané oblasti budu posuzovat jako rovinu, využiji k tomu poznatků analytické geometrie.

Výpočty nejmenších vektorovaných vzdáleností určujeme pro 3 typy letadel - AT43, B738 a A388.

Tabulka 5.10: Zeměpisné souřadnice bodů, které definují TRA37

název bodu	zeměpisná šířka	zeměpisná délka
A	50,72638333	15,50486667
B	50,539275	16,04103889
C	50,53162222	16,14877778
D	50,44198889	16,09610278
E	50,35890833	16,17168333
F	50,16494722	16,45326944
G	50,10876944	16,366375
H	50,13750278	15,96819167
I	50,38495833	15,38781111
J	50,47651389	15,16978056
K	50,56657222	15,04923056
L	50,60889167	15,09525556
M	50,72638333	15,50486667

Nejprve určím souřadnice jednotlivých bodů a výslednou vzdálenost získám součtem jednotlivých ortodromických vzdáleností mezi body MAKAL - X0 - P1 - P2 - HDO. Detailní postup vypočtení zeměpisných souřadnic bodů je uveden níže.

Postup pro určení nejmenší vektorované vzdálenosti

1. Určení rovnice přímky HDO-MAKAL
2. Určení rovnice přímky HG
3. Výpočet průsečíku X1,  $X1 = HG \cap (HDO - MAKAL)$
4. Výpočet bodu X0,  $X0 \in (HDO - MAKAL) \wedge |X0X1| = 15min$
5. Určení rovnice přímky HJ
6. Výpočet bodu X3,  $X3 \in m2 \wedge |X3H| = 5NM; m2 \perp HJ \wedge H, X3 \in m2$
7. Určení rovnice přímky KJ
8. Výpočet bodu X4,  $X4 \in m3 \wedge |X4K| = 5NM; m3 \perp KJ \wedge K, X4 \in m3$
9. Výpočet bodu X2,  $X2 \in m1 \wedge |X2G| = 5NM; m1 \perp HG \wedge G, X2 \in m1$
10. Určení přímky r1,  $r1 \parallel HG, |HGr1| = 5NM$
11. Určení přímky r2,  $r2 \parallel HJ, |HJr2| = 5NM$
12. Určení přímky r3,  $r3 \parallel KJ, |KJr3| = 5NM$
13. Výpočet průsečíku P1,  $P1 = r1 \cap r2$
14. Výpočet průsečíku P2,  $P2 = r2 \cap r3$

### 5.3.1 Výpočet nejmenší vektorované vzdálenosti pro letadlo AT43

Rozdíl mezi jednotlivými typy letadel se objeví při výpočtu vzdálenosti 15min od TRA37, tzn. při výpočtu bodu X0.

Abych mohla vypočítat vzdálenost, kterou letadlo uletí za 15min letu, musím zjistit jeho průměrnou cestovní rychlost. Tyto údaje použiji z tabulky 5.5 Parametry ACFT pro statistické výpočty.

Pro AT43 je uvedena průměrná cestovní rychlost 255 uzlů (kt). Jednotka uzlu je definována jako NM/h, to znamená, že AT43 uletí 255NM/h to odpovídá vzdálenosti 4,25NM za jednu minutu.

Dočasně rezervovaný prostor se řídicímu letového provozu indikuje na radarovém zobrazení 15 min před jeho aktivací. Pokud by ATCO vektoroval letadlo ihned, kdy se dozví o blížící se aktivaci TRA, nejbližší vzdálenost, ve které se letadlo může vyskytovat, je rovna 15min, což odpovídá 63,75NM.

Souřadný systém, který k výpočtu trajektorie budeme používat je vyjádřen v zeměpisných souřadnicích, kde  $1^\circ$  představuje vzdálenost 60NM. Musíme tedy požadovanou vzdálenost odpovídající 15min vyjádřit ve stupních - hodnota je rovna  $1,0625^\circ$ .

#### 1. Určení rovnice přímky HDO - MAKAL

Na základě znalosti dvou bodů, můžeme určit přímku, která těmito body prochází. Vyjdeme z obecné rovnice přímky

$$y = ax + b \quad (5.17)$$

Dosazením zeměpisných souřadnic prvního bodu do rovnice (5.17), kdy za  $x$  dosadím *zeměpisnou délku* bodu HDO a za  $y$  dosadím *zeměpisnou šířku*, dostanu rovnici o dvou neznámých parametrech (5.18).

Stejný postup provedu pro druhý bod, bod MAKAL - získám tedy rovnici o dvou neznámých (5.19).

Vypočítáním soustavy dvou rovnic o dvou neznámých (vyjádřením neznámé z první rovnice a jejím dosazením do rovnice druhé (5.20)) získáme parametry  $a$  a  $b$ , čímž získáváme rovnici přímky (5.23).

Tabulka 5.11: Zeměpisné souřadnice bodů HDO, MAKAL

název bodu	zeměpisná šířka	zeměpisná délka
HDO	50,92815	14,3688
MAKAL	49,24600833	18,16571667

$$50,92815 = 14,3688a + b \quad (5.18)$$

$$49,24600833 = 18,16571667a + b \quad (5.19)$$

$$50,92815 = 14,3688a + 49,24600833 - 18,16571667a \quad (5.20)$$

$$a = \frac{50,92815 - 49,24600833}{14,3688 - 18,16571667} = -0,4430283349 \quad (5.21)$$

$$b = 50,92815 - 14,3688a = 50,92815 - 14,3688 \cdot (-0,4430283349) = 57,29393554 \quad (5.22)$$

$$y = -0,4430283349x + 57,29393554 \quad (5.23)$$

## 2. Určení rovnice přímky HG

Výpočet rovnice přímky provedu stejně jako v kroku 1. Získám rovnici (5.29).

Tabulka 5.12: Zeměpisné souřadnice bodů H, G

název bodu	zeměpisná šířka	zeměpisná délka
H	50,13750278	15,96819167
G	50,10876944	16,366375

$$50,10876944 = 16,366375a + b \quad (5.24)$$

$$50,13750278 = 15,96819167a + b \quad (5.25)$$

$$50,13750278 = 15,96819167a + 50,10876944 - 16,366375a \quad (5.26)$$

$$a = \frac{50,13750278 - 50,10876944}{15,96819167 - 16,366375} = -0,07216108218 \quad (5.27)$$

$$b = 50,10876944 - 16,366375 \cdot (-0,07216108218) = 51,28978477 \quad (5.28)$$

$$y = -0,07216108218x + 51,28978477 \quad (5.29)$$

### 3. Výpočet průsečíku $X1$ ( $HG \cap (HDO - MAKAL)$ )

Průsečík dvou přímek určím vyjádřením neznámé  $z$  první přímky a jejím dosazením do přímky druhé (5.30). Získám tím souřadnice bodu (5.33).

$$-0,4430283349x + 57,29393554 = -0,07216108218x + 51,28978477 \quad (5.30)$$

$$x = \frac{57,29393554 - 51,28978477}{-0,4430283349 - 0,07216108218} = 16,18948755 \quad (5.31)$$

$$y = (-0,4430283349) \cdot 16,18948755 + 57,29393554 = 50,12153383 \quad (5.32)$$

$$\mathbf{X1[16,18948755; 50,12153383]} \quad (5.33)$$

### 4. Výpočet bodu $X0$ , ve vzdálenosti 15 min letu od $X1$

Při výpočtu bodu  $X0$  bereme v úvahu dvě podmínky, které tento bod musí splňovat.

- $X0$  se nachází ve vzdálenosti  $1,0625^\circ$  od  $X1$
- $X0$  leží na přímce  $HDO-MAKAL$

Vzdálenost bodů  $X2[x_2; y_2]$  a  $X1[x_1; y_1]$  je vyjádřena rovnicí:

$$|X2X1| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (5.34)$$

Vyjádřením první podmínky získám jednu rovnici o dvou neznámých (5.37), rovnici přímky  $HDO-MAKAL$  již mám určenou z kroku 1 (5.23). Výpočtem této soustavy rovnic získáme dvě řešení (5.44).

$$1,0625 = \sqrt{(x_2 - 16,18948755)^2 + (y_2 - 50,12153383)^2} \quad (5.35)$$

$$1,12890625 = (x_2 - 16,18948755)^2 + (y_2 - 50,12153383)^2 \quad (5.36)$$

$$1,12890625 = x_2^2 - 2 \cdot 16,18948755x_2 + 16,18948755^2 + y_2^2 - 2 \cdot 50,12153383y_2 + 50,12153383^2 \quad (5.37)$$

$$1,12890625 - 262,0995071 - 2512,168153 = x_2^2 - 32,3789751x_2 + y_2^2 - 100,2430677y_2 \quad (5.38)$$

$$-2773,138754 = x_2^2 - 32,3789751x_2 + y_2^2 - 100,2430677y_2 \quad (5.39)$$

$$y_2 = -0,4430283349x_2 + 57,29393554 \quad (5.40)$$

Do rovnice (5.39) dosadíme za  $y_2$  rovnici (5.40), rovnici přímky HDO-MAKAL, na které bod X0 leží. Po zjednodušení získáme rovnici

$$-312,414229 = 1,1962741055x_2^2 - 38,0073414695x_2 \quad (5.41)$$

$$0 = x_2^2 - 32,37898971x_2 + 261,1560574 \quad (5.42)$$

$$x_{21,22} = \frac{32,37898971 \pm \sqrt{(-32,37898971)^2 - 4 \cdot 261,1560574}}{2} \quad (5.43)$$

$$x_{21} = 17,16093006; x_{22} = 15,21805965 \quad (5.44)$$

$$y_{21} = (-0004430283349) \cdot (17,16093006) + 57,29393554 = 49,69115727 \quad (5.45)$$

Výsledkem kvadratické rovnice jsou 2 body, které leží na přímce HDO-MAKAL a s bodem X1 mají požadovanou vzdálenost. Bod, který hledáme, se nachází východně od TRA37, tudíž naším hledaným bodem je  $x_{21}$ .

$$\mathbf{X0[17,160930061; 49,69115727]} \quad (5.46)$$

#### 5. Určení rovnice přímky HJ

Rovnici přímky *HJ* získám podle předešlého postupu, její předpis se nachází na řádku (5.52).

Tabulka 5.13: Zeměpisné souřadnice bodů H, J

název bodu	zeměpisná šířka	zeměpisná délka
H	50,13750278	15,96819167
J	50,47651389	15,16978056

$$50,13750278 = 15,96819167a + b \quad (5.47)$$

$$50,47651389 = 15,16978056a + b \quad (5.48)$$

$$50,47651389 = 15,16978056a + 50,13750278 - 15,96819167a \quad (5.49)$$

$$a = \frac{50,47651389 - 50,13750278}{15,16978056 - 15,96819167} = -0,4246072 \quad (5.50)$$

$$b = 50,13750278 - 15,96819167 \cdot (-0,4246072) = 56,91771193 \quad (5.51)$$

$$\mathbf{y} = -0,4246072\mathbf{x} + 56,91771193 \quad (5.52)$$

### 6. Výpočet bodu X3

Podmínky pro X3:  $X3 \in m2 \wedge |X3H| = 5NM; m2 \perp HJ \wedge H, X3 \in m2$

Bod X3 se nachází na kolmici na přímku HJ v bodě H, jeho vzdálenost od bodu H je 5NM, což odpovídá  $\frac{1}{12}^\circ$ .

Určení rovnice přímky kolmé na přímku HJ, procházející bodem H

Normálový vektor má tvar

$$\vec{n} = (a; b) \quad (5.53)$$

Pro určení rovnice přímky použitím normálového vektoru, dosadím do obecné tvaru rovnice přímky

$$0 = ax + by + c \quad (5.54)$$

proměnné z normálové vektoru, dosazením zeměpisných souřadnic bodu a výpočítáním rovnice získám obecnou rovnici přímky.

Normálový vektor, podle kterého určím rovnici kolmé přímky, má tvar (5.56), získám z normálové vektoru (5.55) - výměnou souřadnic a změnou znaménka u jedné ze souřadnic.

$$\vec{n}_1 = (0,4246072; 1) \quad (5.55)$$

$$\vec{n}_2 = (-1; 0,4246072) \quad (5.56)$$

$$0 = -x + 0,4246072y + c \quad (5.57)$$

Dosadím bod H [15,96819167; 50,13750278] do rovnice (5.57).

$$0 = -15,96819167 + 0,4246072 \cdot 50,13750278 + c \quad (5.58)$$

$$c = 15,96819167 - 0,4246072 \cdot 50,13750278 = -5,320553 \quad (5.59)$$

$$m_2 : 0 = -x + 0,4246072y - 5,320553 \quad (5.60)$$

Vypočteme bod X3

Vzdálenost bodu X3 a bodu H je rovna 5NM ( $\frac{1}{12}^\circ$ ).



$$\frac{1}{12} = \sqrt{(x_3 - 15,96819167)^2 + (y_3 - 50,13750278)^2} \quad (5.61)$$

$$\frac{1}{144} = (x_3 - 15,96819167)^2 + (y_3 - 50,13750278)^2 \quad (5.62)$$

$$-2768,745 = x^2 - 31,93638334x + y^2 - 100,27500556y \quad (5.63)$$

$$-2966,9725 = 1,1802913y^2 - 118,35371556y \quad (5.64)$$

$$0 = y^2 - 100,27500462y + 2513,762916 \quad (5.65)$$

$$x_{1,2} = \frac{100,27500462 \pm \sqrt{(-100,27500462)^2 - 4 \cdot 2513,762916}}{2} \quad (5.66)$$

$$x_1 = 50,22165; x_2 = 50,05335 \quad (5.67)$$

Hledané řešení se nachází západněji (zeměpisná šířka je menší), výsledkem je  $x_2$ .

$$\mathbf{X3[15,932457; 50,05335]} \quad (5.68)$$

### 7. Určení rovnice přímky KJ

Rovnici přímky  $KJ$  určím stejně jako v předešlých krocích.

Tabulka 5.14: Zeměpisné souřadnice bodů K, J

název bodu	zeměpisná šířka	zeměpisná délka
K	50,56657222	15,04923056
J	50,47651389	15,16978056

$$50,56657222 = 15,04923056a + b \quad (5.69)$$

$$50,47651389 = 15,16978056a + b \quad (5.70)$$

$$50,47651389 = 15,16978056a + 50,56657222 - 15,04923056a \quad (5.71)$$

$$a = \frac{50,47651389 - 50,56657222}{15,16978056 - 15,04923056} = -0,747062 \quad (5.72)$$

$$b = 50,56657222 - 15,04923056 \cdot (-0,747062) = 61,8092805 \quad (5.73)$$

$$\mathbf{y} = -0,747062\mathbf{x} + 61,8092805 \quad (5.74)$$

#### 8. Výpočet bodu X4

Určení bodu  $X_4$  je stejné jako u bodu 6.

Určení rovnice přímky kolmé na přímku KJ, procházející bodem K

$$\vec{n}_1 = (0,747062; 1) \quad (5.75)$$

$$\vec{n}_2 = (-1; 0,747062) \quad (5.76)$$

$$0 = -x + 0,747062y + c \quad (5.77)$$

Dosazení bodu K [15,04923056; 50,56657222] do rovnice (5.77).

$$0 = -15,04923056 + 0,747062 \cdot 50,56657222 + c \quad (5.78)$$

$$c = -22,72713402 \quad (5.79)$$

$$m_3 : 0 = -x + 0,747062y - 22,72713402 \quad (5.80)$$

#### Výpočet bodu X4

$$\frac{1}{12} = \sqrt{(x_4 - 15,04923056)^2 + (y_4 - 50,56657222)^2} \quad (5.81)$$

$$\frac{1}{144} = (x_4 - 15,04923056)^2 + (y_4 - 50,56657222)^2 \quad (5.82)$$

$$-3984,025003 = 1,5581016318y^2 - 157,5757174y \quad (5.83)$$

$$0 = y^2 - 101,1331444y + 2556,97377 \quad (5.84)$$

$$x_{41,42} = \frac{101,1331444 \pm \sqrt{(-101,1331444)^2 - 4 \cdot 2556,97377}}{2} \quad (5.85)$$

$$x_{41} = 50,63331093; x_{42} = 50,49983347 \quad (5.86)$$

$$\mathbf{X4[14,99937257; 50,49983347]} \quad (5.87)$$

9. Rovnoběžka s HG ve vzdálenosti 5NM (r1)

Rovnoběžku r1 s přímkou  $HG$  určím z normálového vektoru (5.88), který mají rovnoběžky stejný. Normálový vektor, podle kterého určím rovnici kolmé přímky, má tvar (5.89), získám z normálové vektoru (5.88) - výměnou souřadnic a změnou znaménka u jedné ze souřadnic.

$$\vec{n}_1 = (0, 07216108218; 1) \quad (5.88)$$

$$\vec{n}_2 = (-1; 0, 07216108218) \quad (5.89)$$

Určení rovnice přímky kolmé na přímku HG, procházející bodem G

Vyjádřením obecné rovnice přímky z normálového vektoru (5.90) a dosazením zeměpisných souřadnic bodu H (5.90), určím rovnici kolmé přímky (5.93).

$$0 = -x + 0, 07216108218y + c \quad (5.90)$$

$$0 = -16, 366375 + 0, 07216108218 \cdot 50, 10876944 + c \quad (5.91)$$

$$c = 16, 366375 - 0, 07216108218 \cdot 50, 10876944 = 12, 75048 \quad (5.92)$$

$$m1 : 0 = -x + 0, 07216108218y + 12, 75048 \quad (5.93)$$

Určení bodu X2

Určení bodu  $X2$  je stejné jako v předešlých případech.

$$\frac{1}{12} = \sqrt{(x_2 - 16, 366375)^2 + (y_2 - 50, 10876944)^2} \quad (5.94)$$

$$\frac{1}{144} = (x_2 - 16, 366375)^2 + (y_2 - 50, 10876944)^2 \quad (5.95)$$

$$-2778, 740061 = x_2^2 - 32, 73275x_2 + y_2^2 - 100, 2175389y_2 \quad (5.96)$$

Do rovnice (5.96) dosadíme rovnici (5.93). Po zkrácení dostaneme následující kvadratickou rovnici.

$$-2523, 956527 = 1, 005207221781y_2^2 - 100, 7393927y_2 \quad (5.97)$$

$$0 = y_2^2 - 101, 2175377y_2 + 2510, 881809 \quad (5.98)$$

$$x_{21,22} = \frac{101,2175377 \pm \sqrt{(-101,2175377)^2 - 4 \cdot 2510,881809}}{2} \quad (5.99)$$

$$x_{21} = 50,19188022; x_{22} = 50,02565748 \quad (5.100)$$

Hledaný bod musí mít menší zeměpisnou délku, je jím bod  $x_{22}$ .

$$\mathbf{X2[16,36038558; 50,02565748]} \quad (5.101)$$

#### 10. Určení rovnice přímky r1

Rovnoběžnou přímku r1 určím z normálového vektoru, dosazením bodu X2 (který na ní leží), získám rovnici (5.105).

$$0 = 0,07216108218x + y + c \quad (5.102)$$

Dosazení bodu X2

$$0 = 0,07216108218 \cdot 16,36038558 + 50,02565748 + c \quad (5.103)$$

$$c = -51,20624061 \quad (5.104)$$

$$\mathbf{0=0,07216108218x+y-51,20624061} \quad (5.105)$$

#### 11. Určení rovnice přímky r2

Rovnoběžnou přímku r2 určím z normálového vektoru, dosazením bodu X3 (který na ní leží), získám rovnici (5.109).

$$0 = 0,4246072x + y + c \quad (5.106)$$

Dosazení bodu X3 do rovnice (5.102).

$$0,4246072 \cdot 15,932457 + 50,05335 + c \quad (5.107)$$

$$c = -56,84172382 \quad (5.108)$$

$$\mathbf{0=0,4246072x+y-56,84172382} \quad (5.109)$$

#### 12. Určení rovnice přímky r3

Rovnoběžnou přímku r3 určím z normálového vektoru, dosazením bodu X4 (který na ní leží), získám rovnici (5.113).

$$0 = 0,747062x + y + c \quad (5.110)$$

Dosazení bodu X4.

$$0,747062 \cdot 14,99937257 + 50,49983347 + c \quad (5.111)$$

$$c = -61,70529474 \quad (5.112)$$

$$\mathbf{0=0,747062x+y-61,70529474} \quad (5.113)$$

### 13. Výpočet průsečíku P1 ( $r1 \cap r2$ )

*P1* je průsečík přímk *r1* a *r2*.

$$0,07216108218x - 51,20624061 = 0,4246072x - 56,84172382 \quad (5.114)$$

$$0,3524461178x = 5,63548321 \quad (5.115)$$

$$x = 15,98963054 \quad (5.116)$$

$$y = -0,07216108218 \cdot 15,98963054 + 51,20624061 = 50,05241157 \quad (5.117)$$

$$\mathbf{P1[15,98963054; 50,05241157]} \quad (5.118)$$

### 14. Výpočet průsečíku P2 ( $r2 \cap r3$ )

*P2* je průsečík přímk *r2* a *r3*.

$$0,4246072x - 56,84172382 = 0,747062x - 61,70529474 \quad (5.119)$$

$$0,3224548x = 4,86357092 \quad (5.120)$$

$$x = 15,08295401 \quad (5.121)$$

$$y = -0,4246072 \cdot 15,08295401 + 56,84172382 = 50,41529944 \quad (5.122)$$

$$\mathbf{P2[15,08295401; 50,41529944]} \quad (5.123)$$

### Výpočet výsledných vzdáleností mezi jednotlivými body

Pro výpočet ortodromické vzdálenosti využijeme následující vzorec:

$$\cos d = \cos(90^\circ - \psi_A)\cos(90^\circ - \psi_B) + \sin(90^\circ - \psi_A)\sin(90^\circ - \psi_B)\cos(\lambda_B - \lambda_A) \quad (5.124)$$

, kde  $d$  představuje ortodromickou vzdálenost mezi body,  $\psi_A$  zeměpisnou šířku prvního bodu,  $\psi_B$  zeměpisnou šířku druhého bodu,  $\lambda_A$  zeměpisnou délku prvního bodu,  $\lambda_B$  zeměpisnou délku druhého bodu

Dosazením hodnot zeměpisných souřadnic do vzorce (5.124) získáváme tabulku 5.15.

Tabulka 5.15: Ortodromické vzdálenosti trati MAKAL - HDO pro AT43

název prvního bodu	název druhého bodu	vzdálenost v NM
MAKAL	X0	47,416
X0	P1	50,213
P1	P2	41,048
P2	HDO	41,040
		<b>179,716</b>

Nejmenší vzdálenost mezi body HDO-MAKAL, naplánované po trati letových provozních služeb, je **179,823NM**. Nejmenší vektorovaná vzdálenost mezi stejnými body je rovna **179,716NM**. Z těchto údajů vyplývá, že i po vektorování řídicím letového provozu je uletěná vzdálenost menší, než při použití pevných tratí letových provozních služeb.

### 5.3.2 Výpočet nejmenší vektorované vzdálenosti pro letadlo B738

Postup pro určení nejmenší vektorované vzdálenosti pro B738 je obdobný jako pro ATR43. Jediný rozdíl je v posunutém bodu X0, který vytyčuje 15 minutovou vzdálenost od dočasně rezervovaného prostoru TRA37.

Jako průměrnou cestovní rychlost letadla B738 považujeme 460kt, což odpovídá 115NM za 15min. Převědeme-li tuto hodnotu na délku vyjádřenou ve stupních, odpovídá to 1,917°.

Pro zjištění ortodromické vzdálenosti přepočítáme pouze vzdálenost mezi body MAKAL-X0 a X0 - P1, ostatní vzdálenosti zůstávají stejné.

Výpočet bodu X0, ve vzdálenosti 15 min letu od X1

$$1,917 = \sqrt{(x_0 - 16,18948755)^2 + (y_0 - 50,12153383)^2} \quad (5.125)$$

$$3,674889 = (x_0 - 16,18948755)^2 + (y_0 - 50,12153383)^2 \quad (5.126)$$

$$3,674889 = x_0^2 - 2 \cdot 16,18948755x_0 + 16,18948755^2 + y_0^2 - 2 \cdot 50,12153383y_0 + 50,12153383^2 \quad (5.127)$$

$$3,674889 - 262,0995071 - 2512,168153 = x_0^2 - 32,3789751x_0 + y_0^2 - 100,2430677y_0 \quad (5.128)$$

$$-2770,592771 = x_0^2 - 32,3789751x_0 + y_0^2 - 100,2430677y_0 \quad (5.129)$$

$$y_0 = -0,4430283349x_0 + 57,29393554 \quad (5.130)$$

Do rovnice (5.129) dosadíme za  $y_0$  rovnici přímky HDO-MAKAL (5.130), na které bod X0 leží. Po zjednodušení získáme rovnici

$$0 = x_0^2 - 32,37897508x_0 + 259,0275595 \quad (5.131)$$

$$x_{01,02} = \frac{32,37897508 \pm \sqrt{(-32,37897508)^2 - 4 \cdot 259,0275595}}{2} \quad (5.132)$$

$$x_{01} = 17,94218468; x_{02} = 14,4367904 \quad (5.133)$$

$$y_{01} = (-0,4430283349) \cdot (17,94218468) + 57,29393554 = 49,34503934 \quad (5.134)$$

Výsledkem kvadratické rovnice jsou 2 body, které leží na přímce HDO-MAKAL a s bodem X1 mají požadovanou vzdálenost. Bod, který hledáme, se nachází východně od TRA37, tudíž naším hledaným bodem je  $x_{01}$ .

$$\mathbf{X0[17,94218468; 49,34503934]} \quad (5.135)$$

#### Výpočet výsledných vzdáleností mezi jednotlivými body

Zeměpisná délka vypočítané souřadnice X0 (17,94218468) je menší než zeměpisná délka bodu MAKAL (18,16571667), z toho plyne, že vypočítaný bod X0 se nachází na přímce mezi body HDO, MAKAL.

Dosazením hodnot zeměpisných souřadnic do vzorce (5.120) získáváme tabulku 5.16.

Nejmenší vzdálenost mezi body HDO-MAKAL, naplánované po trati letových provozních služeb, je **179,823NM**. Nejmenší vektorovaná vzdálenost mezi stejnými body je rovna **179,510NM**. Z těchto údajů vyplývá, že i po vektorování řídicím letového provozu je uletěná vzdálenost menší, než při použití pevných tratí letových provozních služeb.

Tabulka 5.16: Ortodromické vzdálenosti trati MAKAL - HDO pro B738

název prvního bodu	název druhého bodu	vzdálenost v NM
MAKAL	X0	10,574
X0	P1	86,848
P1	P2	41,048
P2	HDO	41,040
		<b>179,510</b>

### 5.3.3 Výpočet nejmenší vektorované vzdálenosti pro letadlo A388

Pro výpočet nejmenší vektorové vzdálenosti je nutné (stejně jako v předchozích případech) přepočítat bod X0.

Průměrná cestovní rychlost letadla A380 je 520kt, za 15min letu uletí toto letadlo 130NM. Převedením na stupně získáme hodnotu  $2,167^\circ$ .

Výpočet bodu X0, ve vzdálenosti 15 min letu od X1

$$2,167 = \sqrt{(x_0 - 16,18948755)^2 + (y_0 - 50,12153383)^2} \quad (5.136)$$

$$4,695889 = (x_0 - 16,18948755)^2 + (y_0 - 50,12153383)^2 \quad (5.137)$$

$$4,695889 = x_0^2 - 2 \cdot 16,18948755x_0 + 16,18948755^2 + y_0^2 - 2 \cdot 50,12153383y_0 + 50,12153383^2 \quad (5.138)$$

$$4,695889 - 262,0995071 - 2512,168153 = x_0^2 - 32,3789751x_0 + y_0^2 - 100,2430677y_0 \quad (5.139)$$

$$-2769,571771 = x_0^2 - 32,3789751x_0 + y_0^2 - 100,2430677y_0 \quad (5.140)$$

$$y_0 = -0,4430283349x_0 + 57,29393554 \quad (5.141)$$

Do rovnice (5.140) dosadíme za  $y_0$  rovnici přímky HDO-MAKAL (5.141), na které bod X0 leží. Po zjednodušení získáme rovnici

$$0 = x_0^2 - 32,37897508x_0 + 258,1740761 \quad (5.142)$$

$$x_{01,02} = \frac{32,37897508 \pm \sqrt{(-32,37897508)^2 - 4 \cdot 258,1740761}}{2} \quad (5.143)$$



$$x_{01} = 18,1707575; x_{02} = 14,20821758 \quad (5.144)$$

Výsledkem kvadratické rovnice jsou 2 body, které leží na přímce HDO-MAKAL a s bodem X1 mají požadovanou vzdálenost. Nalezla jsem 2 řešení -  $x_{01}$  a  $x_{02}$ . Řešení se musí nalézat na východní straně od X1, tudíž jím je bod  $x_{01}$ . Porovnáním souřadnice  $x_{01}$  s bodem MAKAL, zjistím, že bod  $x_{01}$  se nachází východně bodu MAKAL, z toho plyne, že se nenachází na území České republiky.

Můžeme ale spočítat vzdálenost vektorové trati, pokud by řídicí letového provozu vektoroval letadlo hned na vstupním bodě MAKAL.

V tomto případě bod X0 splyne s bodem MAKAL, uletěná trať povede přes body MAKAL - P1 - P2 - HDO.

Postup výpočtu ortodromické vzdálenosti je totožný s postupy u jiných typů letadel (viz výše).

Dosažením hodnot zeměpisných souřadnic do vzorce (5.124) získáme tabulku 5.17.

Tabulka 5.17: Ortodromické vzdálenosti trati MAKAL - HDO pro A388

název prvního bodu	název druhého bodu	vzdálenost v NM
MAKAL	P1	97,398
P1	P2	41,048
P2	HDO	41,040
		<b>179,486</b>

Nejmenší vzdálenost mezi body HDO-MAKAL, naplánované po trati letových provozních služeb, je **179,823NM**. Nejmenší vektorovaná vzdálenost mezi stejnými body je rovna **179,486NM**. Z těchto údajů vyplývá, že i po vektorování řídicím letového provozu je uletěná vzdálenost menší, než při použití pevných tratí letových provozních služeb. Tato vzdálenost odpovídá nejkratší vzdálenosti pro vyhnutí se tomuto prostoru.

Velikost nejmenší vektorované vzdálenosti úzce souvisí s cestovní rychlostí letadla. Čím letadlo letí pomaleji, tím se jeho 15 minutová vzdálenost nachází blíže aktivovanému prostoru, tím radikálnější změna kurzu je potřeba k vychýlení letadla tak, aby byl zachován předepsaný rozstup mezi letadlem a dočasně rezervovaným prostorem.

Pokud ale řídicí letového provozu nařídí letadlu změnu kurzu včas, velikost trati po vektorování je v případě trati HDO-MAKAL menší, než velikost trati plánované po tratích letových provozních služeb.

## Kapitola 6

# Změny pro řídicí letového provozu

Implementace vzdušného prostoru volných tratí s sebou přinese spoustu změn, které musí být uskutečněny, aby vzdušný prostor vyhovoval požadavkům FRA. Většina změn ovlivní práci řídicích letového provozu - především při vyhledávání a řešení konfliktů.

Tato kapitola se zaměřuje na nové nástroje, které slouží k detekci konfliktů a již jsou či budou v brzké době implementovány i v České republice. Jsou zde uvedeny také moje návrhy funkcí, které by přispěly ke zjednodušení práce řídicímu letového provozu při posuzování bezkonfliktnosti letadel.

### 6.1 Nové nástroje na detekci konfliktů

Nové nástroje na detekci konfliktů jsou vítanými podpůrnými prostředky při implementaci vzdušného prostoru volných tratí. Jejich existence je nezbytná pro zvýšení kapacity a propustnosti vzdušného prostoru. Řídicím letového provozu uvolňuje kapacitu, ulehčuje vyhledávání konfliktů a dává jim větší prostor pro efektivnější výkon práce.

Intervenční způsob řešení detekovaných konfliktů by měl být omezen pouze na nezbytné minimum a přednostně by mělo být využíváno řešení prostřednictvím úprav trajektorie.

Při hledání optimální trajektorie řešící daný potenciální konflikt budou využívány nástroje jako MTCD (Medium Term Conflict Detection), CORA (Conflict Resolution Advisor), MONA (Monitoring Aids) a CDM (Collaborative Decision Making) principy a postupy.

Od řídicího letového provozu plánujícího bezkonfliktní trajektorii v rozsahu několika sektorů nelze požadovat udržení dnes obvyklého celkového přehledu. Funkce MTCD jej tedy upozorní na potenciálně hrozící konflikty (včetně APW /Area Proximity Warning/ a MAW /Minimum Altitude Warning/). CORA doporučí řešení hrozících konfliktů a MONA sleduje případné odchylky od referenční „Authorised Reference Trajectory“. Lety pro které nebylo možné, nebo účelné vyhledání bezkonfliktní trajektorie jsou ponechány funkci „Executive Controller“ k vyřešení radarovým sledováním, nebo intervenčním zásahem (radarovým rozstupem).

### 6.1.1 Free Route Flight (FRF) strip

Free Route Flight strip se řadí do speciálních stripů, které upozorňují řídicí letového provozu na důležité údaje o letu, před vstupem do jeho prostoru zodpovědnosti.

FRF strip se indikuje na příslušném sektoru při jednom z těchto důvodů

- Plánovaná trať letu v prostoru FRAPRA vede přes aktivovaný omezený či zakázaný prostor
- Vstup letadla do prostoru FRAPRA je mimo hladinové rozmezí
- Vstup letadla do prostoru FRAPRA je mimo časovou platnost

#### 6.1.1.1 Plánovaná trať letu v prostoru FRAPRA přes aktivovaný omezený či zakázaný prostor

Pokud je let naplánován přes omezený či zakázaný prostor v době jeho aktivace, řídicímu letového provozu se na příslušném sektoru zobrazí FRF strip podobný stripu níže (obrázek 6.1).

Tento strip poukazuje na skutečnost, že pokud nedojde k přetrasování letu, dojde k narušení aktivovaného omezeného či zakázaného prostoru (DAIW).

Prostory, k jejichž narušení by mohlo dojít, jsou především TRA37 a TRA38, které mohou být aktivány až do FL660.

Warning	C/S	Comment	MFL
<b>FRF</b>	<b>DLH525</b>	<b>DAIW TRA70</b>	

Obrázek 6.1: FRF SPS strip - DAIW

#### 6.1.1.2 Vstup letadla do prostoru FRAPRA mimo hladinové rozmezí

Každá plánovatelná přímá trať ve vzdušném prostoru FRAPRA je omezena hladinami, které tvoří spodní a horní hranici. Tento speciální strip se zobrazí v případě, pokud je let naplánován mimo hladinové rozmezí prostoru.

Ve vzdušném prostoru volných tratí ve FIRu Praha jsou plánovatelné přímé tratě definované nad FL165 (mimo publikované plánovatelné tratě z bodu BEPAS, které jsou definované nad FL245).

### 6.1.1.3 Vstup letadla do prostoru FRAPRA mimo časovou platnost

Při vstupu letadla do vzdušného prostoru volných tratí mimo jeho časovou platnost, dojde k zobrazení stripu níže (obrázek 6.2).

V tomto případě záleží na řídicích letového provozu, zda daný let přetrasují přes klasické tratě letových provozních služeb či je nechají letět po přímé trati. Vše závisí na vůli řídicích a jejich vzájemné koordinaci.

Tento problém se vyskytuje především ve vzdušném prostoru volných tratí s časovým omezením pouze na noční DCT.

Warning	C/S	Comment	MFL
<b>FRF</b>	<b>KLM986</b>	<b>Invalid Entry time, Exit time for FRF</b>	

Obrázek 6.2: FRF SPS strip - mimo časovou platnost

FRF stripy jsou generovány systémem ESUP, který je distribuuje do systémů IDP a miniESUP. Po rozeslání těchto stripů se na pozici PC (Planner Controller) objeví jejich indikace.

Kliknutím levým tlačítkem myši na červeně podbarvené pole s nápisem FRF letecký dispečer souhlasí s indikovanou změnou a stvrzuje tím, že je o dané situaci informován.

Je povinností řídicího letového provozu na pozici PC vykoordinovat vstupní či výstupní podmínky daného letu tak, aby splňovala určitá kritéria. Pokud není možné, aby Planner Controller tato kritéria zajistil sám, musí na to upozornit řídicího letového provozu na pozici EC (Executive Controller) a po vzájemné domluvě možnými nástroji zajistit, aby let splňoval zkoordinované podmínky za současného zajištění bezpečného provedení letu. [14]

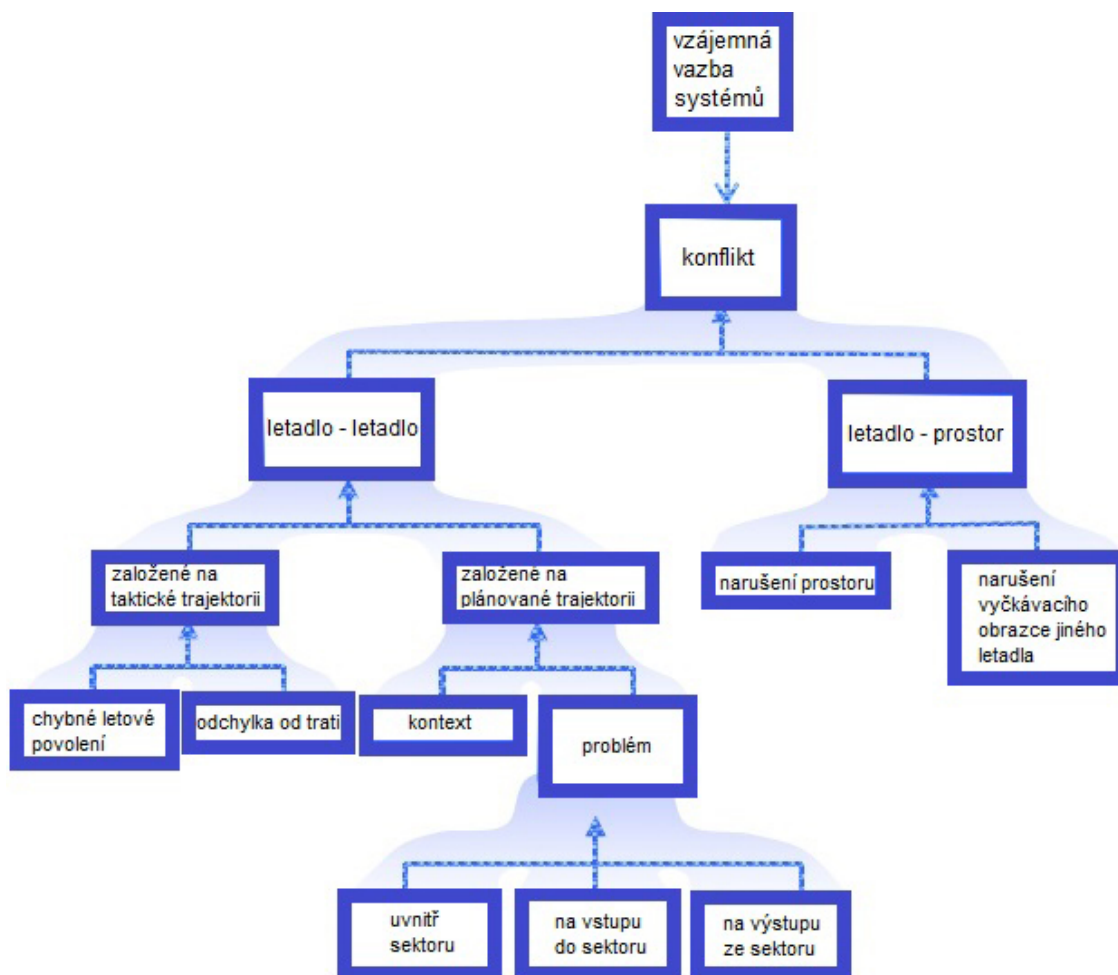
### 6.1.2 Nástroj na detekci střednědobého konfliktu (MTCD)

Nezbytnou a klíčovou součástí činností v souvislosti s Conflict Management (zejména v souvislosti s používáním volných tratí) je spolehlivá funkce střednědobé detekce potenciálních konfliktů (MTCD – Medium Term Conflict Detection) v pozemních systémech a ATSAW (Airborne Traffic Situation Awareness)/ ASAS (Airborn Separation Assistance System) na palubách letadel.

- detekce a upozornění na možnou ztrátu rozstupu mezi 2, respektive více letadly
- detekce a upozornění na možné narušení omezeného, nebezpečného či zakázaného prostoru
- detekce a zobrazení potenciálního konfliktu mezi letadly při neplánované změně letové hladiny ještě před vydaným letovým povolením ("What if" funkce<sup>1</sup>)

<sup>1</sup>"What if" funkce řeší případy, co by se stalo, kdyby. Např. pokud pilot požádá stoupat do jiné než požadované hladiny či při řešení konfliktu rozdílnými hladinami

Hlavním úkolem MTCD je informovat řídicího letového provozu o potenciálních konfliktech vznikajících v časovém horizontu do cca 20min, které mohou vyžadovat zásah řídicího. Může se jednat o přetrasování letu, o vydání nového povolení či jen ovlivňují obsah vydaných letových povolení.



Obrázek 6.3: Princip MTCD

Potenciální konflikty můžeme rozdělit na 2 základní druhy – konflikty plynoucí z plánované trajektorie nebo z taktické trajektorie.

Potenciální konflikty plynoucí z taktické trajektorie vznikají z určování pozice letadel z taktické trajektorie. Dále rozlišujeme, pokud letadlo následuje konfliktní letové povolení či vzniklý konflikt vychází z odchylování od vydaného letového povolení.

Potenciální konflikt vycházející z plánované trajektorie letu představuje buď „problém“ nebo "kontext" (konflikt dvou nebo více letadel jako eventuální omezení letadla přítomností letadla jiného, např. jedno letadlo se nachází 2000ft pod druhým letadlem). Při použití MTCD dochází k indikaci konfliktního letového povolení ještě před jeho vydáním, pokud

by řídicí letového provozu zamýšlel první letadlo sklesat o několik hladin níže (skrz druhé letadlo).

„Problém“ je klasifikován jako – vstupní problém, výstupní problém nebo problém uvnitř sektoru. Řídicí letového provozu na pozici PC je odpovědný za řešení vstupních a výstupních konfliktů, v závislosti na momentální zátěži EC pomáhá řešit i konflikty uvnitř sektoru.

Schéma řešení konfliktů systémem MTCDD se nachází na obrázku č. 6.1.[8]

### 6.1.3 CDM (Collaborative Decision Making)

Veškerá rozhodnutí jsou činěna prostřednictvím CDM na základě sdílené znalosti situace.

Tento postup zlepšuje celkovou kvalitu přijatých řešení a rozhodnutí a napomáhá dosažení žádoucích výsledků.

Ačkoliv je CDM princip aplikován na veškeré ATM procesy, nesmí nijak omezovat taktická rozhodnutí řídicí letového provozu a posádek při řešení provozních situací vyžadujících řešení v krátkém a velmi krátkém časovém horizontu.

CDM vychází ze dvou základních zásad

- Všichni účastníci procesu (stakeholders) disponují totožnými a aktuálními informacemi
- Rozhodnutí činí ten z nich, kdo je v nejuhodnější pozici rozhodnutí učinit a má k tomu oprávnění. [7]

### 6.1.4 MONA (Monitoring Aids)

Hlavním úkolem systému MONA je pomáhat ATCO při pravidelném sledování letového provozu, upozorňuje jej na letadla odchylovající se od trati či vydaného letového povolení, připomíná činnosti, které musí být uskutečněny a obnovují aktuální informaci o trajektorii letu.

Do systému MONA vstupují následující parametry

- Letová data o vybraných letech
- Předpověď plánované a taktické trajektorie
- Data ze sledovacího zařízení

Na základě těchto parametrů dochází ke generování upozornění či varování, která jsou zobrazena řídicím letového provozu.

MONA porovnává systémový track s vydanými letovými povoleními za účelem upozornění řídicího letového provozu na letadlo odchylovající se od trati a předpovídat trajektorii letu na základě znalosti minulých dat.

Systém MONA disponuje funkcí upozornění, která jsou generována na rutinní události v určitém čase či vzdálenosti od určitého bodu v plánované trajektorii letu. [9]

### 6.1.5 CORA (Conflict Resolution Assistant)

Systém CORA předkládá navrhovaná řešení indikovaného potenciálního konfliktu řídicímu letového provozu.

Metody řešení konfliktů můžeme rozdělit do několika kategorií

- Řešení na základě stanoveného rozhodnutí - pro každou konfliktní situaci jsou předepsané postupy pro její řešení (např. GPWS)
- Optimalizované řešení - optimalizační funkce určují nejvhodnější řešení dané situace. Existují různé druhy optimalizačních metod
  - A\* algorithm, který bere v úvahu trajektorie všech letů vyskytujících se na daném místě za účelem stanovení optimálního bezkonfliktního řešení
  - Genetické algoritmy, využívající metody založené na genetice, jako třeba křížení, mutace a přirozený výběr za účelem výběru ideální trajektorie z množiny trajektorií
- Metoda reaktivní analýzy a silového pole - každé letadlo je porovnáváno s nabitou částicí v silovém poli, podřizující se přitažlivým (směrem k destinaci, např. kurz), odporovým (vůči jiným letadlům) a klouzavým (obklopující překážky) silám.  
Síla představuje riziko srážky. Způsoby řešení konfliktů jsou definovány elektrostatickými rovnicemi. Tato metoda se nezaměřuje na hledání optimální trajektorie, ale na hledání trajektorie proveditelné.[10]

## 6.2 Navrhované nástroje na detekci konfliktů

Nástroje sloužící k indikaci konfliktů mezi letadly, prostory a letadly navzájem nejsou dostatečně vyvinuty natolik, aby nedocházelo k občasným incidentům vlivem nedostatečné vybavenosti systémů. V této kapitole jsou uvedeny moje návrhy některých z přídatných nástrojů, které práci řídicího letového provozu nanejvýš zjednoduší.

### 6.2.1 Elektronický strip indikující narušení vzdušného prostoru po pevné trati

Systém ESUP indikuje potenciální narušení aktivovaného omezeného, nebezpečného nebo zakázaného prostoru pouze pokud se jedná o let po přímé trati (DCT). Pokud je let plánován po pevné trati letových provozních služeb, žádné varovné hlášení se neindikuje. Řídicí letového provozu musí zaznamenat potenciální konflikt s aktivovaným prostorem, pokud tak neučiní, 2 minuty do narušení prostoru se na radaru zobrazí výstražná indikace DAIW.

Hlavním problémem je, že systém ESUP generuje SPS strip DAIW podle předpokládaného profilu letu, nikoliv na základě aktuálních informací - aktuální vertikální rychlosti stoupání/klesání či aktuální výšce. Tento problém se objevuje například u letů z LKPR, jejichž vertikální profil je v systému ESUP nedefinován tak, že při plynulém stoupání se letadlo na úrovni aktivovaných prostorů TRA31, TRA32, TRA33 a TRA34 (5000AMSL - FL245) bude nacházet nad FL250, indikace tudíž nebude generována.

Nástroj, indikující potenciální narušení aktivovaného prostoru by řídicímu letového prostoru velmi usnadnil práci a odlehčil pracovní zátěž.

### **6.2.2 Automatická změna tratě v letovém plánu, která se odešle v aktivační zprávě ACT**

Zavedení vzdušného prostoru volných tratí napříč jednotným evropským nebem (SES) způsobí, že trajektorie již nepovedou přes vstupní a výstupní body, letadla budou překračovat hranice v libovolných místech. Z tohoto důvodu musí dojít k přepočítání trajektorie za účelem odeslání aktuální trajektorie ve zprávě ACT.

Aktualizovaná trajektorie, která je odesílána aktivační zprávou ACT, nemůže být přepočítána pouze na základě aktuální informace o rychlosti a směru, musí být zde prostor pro rozhodnutí řídicího letového provozu. Pokud by byl proces aktualizování trajektorie zajištěn automaticky, rozdíl mezi přímou tratí a změnou kurzu letadla z důvodu zajištění rozstupu by byl těžko rozpoznatelný.

Z tohoto důvodu je nezbytné zavést nástroj, který na základě rozhodnutí řídicího letového provozu změni trať v aktivační zprávě, a ta je distribuována následujícímu stanovišti.

Změna úseku tratě z pevné na volnou trať mezi dvěma body by měla být uskutečněna označením hraničních bodů daného úseku a potvrzením změny na volnou trať. Tento pozměněný úsek tratě se projeví změnou v aktivační zprávě.

## **6.3 Změna ve výcviku řídicích letového provozu**

Velké množství změn, které je potřeba po zavedení vzdušného prostoru volných tratí uskutečnit, se promítne i do výcviku nových řídicích letového provozu.

Stávající výcvik řídicích letového provozu je založen na detailní znalosti jednotlivých sektorů, koordinačních dohod a obvyklých míst potenciálních konfliktů. Po implementaci vzdušného prostoru volných tratí je nezbytná změna výcvikových osnov, způsobu analýzy bezkonfliktnosti letu, nových postupů a použití nově zavedených nástrojů.

Vhodně uzpůsobený výcvik řídicích letového provozu je aspekt, bez kterého implementace vzdušného prostoru volných tratí nemůže být úspěšná.



# Kapitola 7

## Závěr

Implementace vzdušného prostoru volných tratí s sebou přináší řadu výhod, ale i jistá úskalí.

Největší úskalí při zavedení této koncepce souvisí se systémem práce řídicích letového provozu - způsobem vyhledávání a řešení konfliktů, zavedením nových nástrojů pro jejich detekci. Výkon práce řídicích letového provozu negativně ovlivňuje i změna sektorizace a koordinačních dohod, které jsou pro zavedení FRA nezbytné.

Navzdory všem výše zmíněným negativním aspektům, které s sebou zavedení vzdušného prostoru volných tratí přináší, FRA disponuje velkým množstvím pozitiv, projevující se především na straně provozovatele a cestujícího.

Z důvodu napřimění tratí dojde ke snížení plánované letové vzdálenosti mezi letišti vzletu a cílovou destinací. To se projeví snížením letových poplatků, množstvím spotřebovaného paliva, menší produkcí emisních plynů a kratší dobou letu. Celkové náklady provozovatelů se sníží.

Snížení plánované letové vzdálenosti se ve vzdušném prostoru volných tratí ve FIR Praha téměř neprojeví, projeví se při rozšíření této koncepce v rámci EUR regionu, předpokládá se úspora 60 000 - 75 000 NM/den.

I přes všechny negativní dopady na český vzdušný prostor, převažují pozitivní aspekty, které souvisí se zavedením vzdušného prostoru volných tratí. Slabé stránky a úskalí implementace FRA lze eliminovat vhodným plánováním a načasováním.

Hlavní cíl této práce, analýza zavedení vzdušného prostoru volných tratí, byl naplněn a dokázal nejen výhodnost implementace tohoto konceptu, ale i potenciální hrozby, kterým můžeme čelit. Myslím si, že veškerá rizika, která vzešla ze SWOT analýzy, jsou malého významu v porovnání s benefity, které tento projekt přináší.

Budoucnost letecké dopravy se nachází v projektech obdobných zavedení vzdušného prostoru volných tratí. Implementací FRAPRA se držíme v popředí vývoje řízení letového provozu, náš vzdušný prostor je i nadále konkurenceschopný.

# Literatura

- [1] AIRBUS. A380 specifications, 2017. <http://www.airbus.com/aircraftfamilies/passengeraircraft/a380family/innovation/>.
- [2] ATR Customer Services. *Fuel Saving*. ATR Customer Services, Leden 2011 edition, 2011.
- [3] Boeing. B737 airplane characteristics for airport planning, 2013. <http://www.boeing.com/assets/pdf/commercial/airports/acaps/737.pdf>.
- [4] EUROCONTROL. *European Route Network Improvement Plan*. EUROCONTROL, Červen 2014 edition, 2014.
- [5] EUROCONTROL. *Free Route Airspace developments*. EUROCONTROL, Prosinec 2016 edition, 2016.
- [6] EUROCONTROL. Aircraft performance database, 2017. <https://contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance/default.aspx?>
- [7] EUROCONTROL. Airport CDM Implementation, The Manual, 2017. <http://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/airport-cdm-manual-2017.PDF>.
- [8] EUROCONTROL. *EUROCONTROL specification for Medium-Term Conflict Detection*. EUROCONTROL, Březen 2017 edition, 2017.
- [9] EUROCONTROL. *EUROCONTROL specification for Monitoring Aids*. EUROCONTROL, Březen 2017 edition, 2017.
- [10] EUROCONTROL Experimental Center. *Current State of ATC Conflict Resolution*. EUROCONTROL, Září 1999 edition, 1999.
- [11] EUROCONTROL Experimental Center. *Environmental Benefit Analysis*. EUROCONTROL, Leden 2012 edition, 2012.
- [12] Evropská komise. Prováděcí nařízení komise (EU) č. 716/2014, 2014. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32014R0716>.
- [13] FAB Central Europe. FAB CE Initiative, 2017. <http://www.fab-ce.eu/index.php/initiative>.

- [14] M. Hrach. *Manuál pro používání elektronických stripů*. ŘLP ČR, s.p., Duben 2016 edition, 2016.
- [15] Inno Support. Jak provést SWOT analýzu, 2005. <http://www.innosupport.net/index.php?id=2065&L=8>.
- [16] Letecká informační služba ŘLP ČR s.p. *Postupy pro letové navigační služby uspořádání letového provozu (L4444)*. Letecká informační služba ŘLP ČR s.p, Říjen 2015 edition, 2015.
- [17] Letecká informační služba, ŘLP ČR, s.p. Letecká informační příručka, 2017. <http://lis.rlp.cz>.
- [18] Letecká informační služba, ŘLP ČR, s.p. Vfr příručka Česká republika, 2017. <http://lis.rlp.cz/vfrmanual/>.
- [19] SESAR. European ATM Master Plan, 2015. <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/modes/air/sesar/doc/eu-atm-master-plan-2015.pdf>.
- [20] M. Čevelová. SWOT analýza: jak a hlavně proč ji sestavit, 2011. <https://www.cevelova.cz/proc-swot-analyza/>.

## Příloha A

# Zeměpisné souřadnice význačných bodů LKAA

<b>název bodu</b>	<b>zeměpisná délka</b>	<b>zeměpisná šířka</b>
ABRAX	49 41 51,73 N	015 53 41,58 E
AGNAV	49 34 04,50 N	012 36 52,21 E
ARTUP	50 41 06,85 N	014 54 18,37 E
ASTEL	50 51 52,02 N	014 51 37,64 E
BABUS	48 58 49,13 N	017 18 04,51 E
BALTU	50 05 22,06 N	013 19 35,48 E
BAVIN	49 56 42,12 N	014 43 41,75 E
BAXEV	49 52 23,68 N	017 26 29,37 E
BEKVI	50 04 24,08 N	014 43 20,49 E
BEPAS	48 53 54,29 N	013 30 34,77 E
BITSI	49 18 29,80 N	016 14 10,73 E
BNO	49 09 00,23 N	016 41 33,29 E
BODAL	49 27 50,79 N	015 46 57,73 E
BULEK	50 24 47,66 N	015 03 55,10 E
DESEN	50 16 12,37 N	017 31 01,02 E
DITIS	48 53 52,88 N	015 06 58,89 E
DIXEP	49 53 06,16 N	015 36 57,64 E
DOBEN	49 46 24,02 N	013 33 41,55 E
DOBIL	50 02 19,28 N	015 56 14,61 E
DOKEL	50 37 39,40 N	014 49 20,60 E
DONAD	50 04 50,93 N	013 00 00,00 E
DOPOV	50 04 50,93 N	013 07 30,40 E
EKMES	49 58 41,05 N	013 29 43,12 E
ELMEK	49 54 14,04 N	014 01 47,55 E
ENORU	50 20 24,86 N	016 22 12,83 E
ESETO	49 13 47,80 N	017 43 05,80 E
GOLOP	50 35 08,74 N	014 29 44,63 E

GOPSI	50 33 58,70 N	013 34 08,62 E
HDO	50 55 41,34 N	014 22 07,68 E
HLV	49 19 22,27 N	017 31 42,23 E
IPRUX	49 29 43,36 N	013 13 23,95 E
KOMUR	50 33 44,46 N	014 34 53,90 E
KONAR	50 26 42,50 N	013 03 56,08 E
KOPIT	50 11 17,55 N	015 09 28,63 E
LABUK	49 29 54,69 N	017 24 38,84 E
LAGAR	50 47 42,99 N	015 22 01,52 E
LALES	48 51 54,62 N	017 42 34,25 E
LEMBI	50 33 02,86 N	014 52 52,61 E
LETNA	50 05 31,29 N	014 25 19,84 E
LOKVU	48 52 28,98 N	015 50 05,99 E
LOMKI	49 54 33,61 N	013 14 28,40 E
LUMOT	49 42 40,27 N	017 51 40,42 E
MAKAL	49 14 45,63 N	018 09 56,58 E
MIKOV	48 47 05,08 N	016 37 15,61 E
MORKO	49 13 08,82 N	017 01 34,81 E
NEPOV	49 37 28,80 N	014 04 51,45 E
NEPUX	49 32 17,44 N	013 36 35,42 E
NIRGO	49 19 51,40 N	013 07 55,99 E
NOVUM	49 34 22,01 N	016 04 24,01 E
ODNEM	48 51 11,52 N	017 10 04,24 E
OKG	50 03 54,53 N	012 24 20,66 E
OKL	50 05 44,80 N	014 15 55,81 E
OKX	50 54 09,65 N	015 01 54,84 E
OPAVO	49 54 19,91 N	017 46 33,70 E
OSNEK	49 30 47,50 N	015 38 16,82 E
PADKA	49 56 01,98 N	018 16 59,77 E
PEMUR	50 03 16,81 N	015 32 17,65 E
PIVES	49 55 16,48 N	015 08 47,74 E
RAK	50 05 49,41 N	013 41 26,58 E
RAPET	50 11 25,76 N	012 20 19,10 E
RAVKU	50 46 00,53 N	014 25 43,87 E
RIBSI	49 57 13,56 N	017 39 42,30 E
RISUK	50 14 11,01 N	014 46 05,21 E
RODUX	50 56 33,78 N	014 37 01,86 E
ROMIS	49 07 37,61 N	018 06 39,42 E
RUDAP	49 14 28,53 N	013 15 56,11 E
SOPAV	49 55 51,32 N	018 03 08,56 E
SOPGA	50 10 37,23 N	012 43 07,63 E
TBV	49 47 45,04 N	016 40 43,89 E
TOMTI	50 57 11,00 N	015 17 36,00 E

TUMKA	49 24 28,42 N	015 56 50,16 E
UPEGU	49 02 05,69 N	014 28 35,34 E
VALPI	49 01 28,70 N	017 57 00,83 E
VAMBO	50 01 01,47 N	016 25 48,10 E
VARIK	50 17 28,00 N	012 22 52,00 E
VEXIL	50 23 32,31 N	012 38 00,64 E
VLM	49 42 15,38 N	015 04 00,27 E

## Příloha B

### Seznam přímých tratí

<b>název vstupního bodu</b>	<b>název výstupního bodu</b>
OKG	LAGAR
OKG	ROMIS
OKG	MAKAL
MAREM	DITIS
MAREM	ABUDO
MAREM	ROMIS
MAREM	LANUX
HDO	ODNEM
HDO	MAKAL
HDO	ROMIS
HDO	ABUDO
HDO	DITIS
RASAN	ABUDO
RASAN	DITIS
TOMTI	DITIS
TOMTI	ABUDO
TOMTI	RUDAP
TOMTI	OKG
TOMTI	NIRGO
TOMTI	GOLOP
ELVOT	ABUDO
DESEN	MIKOV
DESEN	VALPI
PADKA	VEXIL
PADKA	RAPET
PADKA	VARIK
PADKA	NIRGO
PADKA	RUDAP
PADKA	VLM

MAKAL	RODUX
MAKAL	HDO
MAKAL	VARIK
MAKAL	VEXIL
MAKAL	RAPET
MAKAL	OKG
MAKAL	NIRGO
MAKAL	RUDAP
LALES	RODUX
LALES	HDO
LALES	LALUK
LALES	VEXIL
LALES	RAPET
LALES	OKG
LALES	NIRGO
LALES	VARIK
LALES	RUDAP
LOKVU	LALUK
LOKVU	TOMTI
LOKVU	HDO
PISAM	TOMTI
DITIS	OKG
DITIS	VARIK
DITIS	RAPET
DITIS	VEXIL
UPEGU	ENORU
UPEGU	HDO
UPEGU	TOMTI
UPEGU	RODUX
BEPAS	LAGAR
BEPAS	PADKA
BEPAS	TOMTI
BEPAS	HDO
BEPAS	ENORU
AGNAV	LAGAR
AGNAV	HDO
ENITA	MAKAL
ENITA	ROMIS



## Příloha C

### Četnost využití přímých tratí

název vstupního bodu	název výstupního bodu	četnost využití přímé tratě
OKG	LAGAR	9
OKG	ROMIS	37
OKG	MAKAL	1
MAREM	DITIS	8
MAREM	ABUDO	11
MAREM	ROMIS	0
MAREM	LANUX	50
HDO	ODNEM	14
HDO	MAKAL	363
HDO	ROMIS	6
HDO	ABUDO	1
HDO	DITIS	4
RASAN	ABUDO	7
RASAN	DITIS	6
TOMTI	DITIS	0
TOMTI	ABUDO	6
TOMTI	RUDAP	32
TOMTI	OKG	2888
TOMTI	NIRGO	26
TOMTI	GOLOP	5
ELVOT	ABUDO	7
DESEN	MIKOV	3
DESEN	VALPI	5971
PADKA	VEXIL	0
PADKA	RAPET	281
PADKA	VARIK	2
PADKA	NIRGO	0
PADKA	RUDAP	0
PADKA	VLM	0

MAKAL	RODUX	179
MAKAL	HDO	363
MAKAL	VARIK	3
MAKAL	VEXIL	88
MAKAL	RAPET	1
MAKAL	OKG	902
MAKAL	NIRGO	0
MAKAL	RUDAP	2
LALES	RODUX	448
LALES	HDO	2018
LALES	LALUK	8
LALES	VEXIL	965
LALES	RAPET	12876
LALES	OKG	6455
LALES	NIRGO	0
LALES	VARIK	5282
LALES	RUDAP	0
LOKVU	LALUK	8
LOKVU	TOMTI	1
LOKVU	HDO	198
PISAM	TOMTI	2
DITIS	OKG	32
DITIS	VARIK	951
DITIS	RAPET	1205
DITIS	VEXIL	5
UPEGU	ENORU	156
UPEGU	HDO	0
UPEGU	TOMTI	93
UPEGU	RODUX	0
BEPAS	LAGAR	48
BEPAS	PADKA	2
BEPAS	TOMTI	16
BEPAS	HDO	1
BEPAS	ENORU	6
AGNAV	LAGAR	11
AGNAV	HDO	0
ENITA	MAKAL	1
ENITA	ROMIS	8

## Příloha D

# Výpočet vzdálenosti, úspora paliva

název bodu	název bodu	trať(NM)	DCT(NM))	rozdíl(NM)
LALES	VARIK	224,683	224,196	0,487
DESEN	VALPI	77,4083	76,6	0,808
HDO	ODNEM	166,888	164,918	1,970
DITIS	OKG	126,772	126,75	0,022
TOMTI	OKG	124,05	122,375	1,675
BEPAS	LAGAR	138,584	134,591	3,993
DITIS	VARIK	136,638	135,273	1,365
DITIS	RAPET	136,608	133,058	3,550
LALES	RAPET	224,74	223,791	0,949
MAKAL	OKG	229,982	229,006	0,976
LALES	OKG	220,047	218,934	1,113
OKG	LAGAR	123,517	121,357	2,16
LALES	HDO	179,676	178,831	0,845
TOMTI	NIRGO	133,167	127,967	5,2
DESEN	MIKOV	110,851	95,707	15,144
AGNAV	LAGAR	129,64	128,858	0,782
TOMTI	RUDAP	135,477	128,986	6,491
TOMTI	GOLOP	38,936	37,439	1,497
LOKVU	TOMTI	137,331	126,443	10,888
LOKVU	HDO	137,278	135,604	1,674
HDO	ROMIS	186,061	180,193	5,868
PADKA	VLM	134,127	125,269	8,858
PADKA	RAPET	230,893	229,427	1,466
UPEGU	RODUX	115,798	114,597	1,201
UPEGU	TOMTI	123,059	119,321	3,738
BEPAS	PADKA	198,157	196,374	1,783
BEPAS	TOMTI	142,038	141,215	0,823
LALES	RODUX	176,072	172,651	3,421
LALES	VEXIL	217,811	217,455	0,356

LALES	NIRGO	313,901	181,953	131,948
LALES	RUDAP	239,264	176,166	63,098
PADKA	VEXIL	237,191	218,836	18,355
PADKA	RUDAP	231,367	199,507	31,860
PADKA	NIRGO	229,057	203,376	25,681
OKG	MAKAL	265,308	229,006	36,302
OKG	ROMIS	236,949	228,84	8,109
MAKAL	RODUX	175,541	170,322	5,219
MAKAL	HDO	179,823	177,595	2,228
MAKAL	VARIK	235,355	232,705	2,650
MAKAL	RAPET	235,326	232,976	2,350
MAKAL	VEXIL	228,482	224,873	3,609
MAKAL	NIRGO	237,1	197,016	40,084
MAKAL	RUDAP	239,411	191,908	47,503
UPEGU	HDO	117,236	113,67	3,566
PADKA	VARIK	230,505	228,045	2,460

## Příloha E

# Seznam použitých zkratk

- ACC** Area Control Centre, Oblastní středisko řízení
- AIP** Aeronautical Information Publication, Letecká informační příručka
- ATC** Air Traffic Control, Řízení letového provozu
- ATCO** Air Traffic Controller, Řídící letového provozu
- ATS** Air Traffic Services, Letové provozní služby
- CHG** Modification (message type designator), Změna (označení druhu zprávy)
- D** Danger Area, Nebezpečný prostor
- DAIW** Danger Area Infingement Warning, Varování před narušením nebezpečného prostoru
- DCT** Direct, Přímá (ve vztahu k letovým povolením a druhu přiblížení)
- EC** Executive Controller, Výkonný řídící letového provozu
- EUR** European Region, Evropský region
- FIR** Flight Information Region, Letová informační oblast
- FL** Flight Level, Letová hladina
- FPL** Flight Plan, Letový plán
- FR** Free Route, Volná trať
- FRA** Free Route Airspace, Vzdušný prostor volných tratí
- FRAPRA** Free Route Airspace Praha, Vzdušný prostor volných tratí Praha
- FRF** Free Route Flight, Let po volné trati
- GAT** General Air Traffic, Let prováděný v souladu s pravidly a postupy ICAO
- H24** Continuous day and night service, Nepřetržitá denní a noční služba

**ICAO** International Civil Aviation Organization, Mezinárodní organizace pro civilní letectví

**IFPS** Initial Flight Plan Processing System, Systém pro zpracování letových plánů

**IFR** Instrument Flight Rules, Pravidla pro let podle přístrojů

**MTCD** Medium Term Conflict Detection, Střednědobá detekce konfliktu

**NM** Nautical Mile, Námořní míle

**OAT** Operational Air Traffic, Let prováděný podle jiných pravidel než ICAO

**P** Prohibited Area, Zakázaný prostor

**PC** Planner Controller, Plánovací řídicí letového provozu

**R** Restricted Area, Omezený prostor

**RPL** Repetitive Flight Plan, Stálý letový plán

**SID** Standard Instrument Departure, Standardní přístrojový odlet

**STAR** Standard Instrument Arrival, Standardní přístrojový přílet

**STCA** Short Term Conflict Detection, Krátkodobá detekce konfliktu

**TMA** Terminal Control Area, Koncová řízená oblast

**TRA** Temporary Reserved Area, Dočasně rezervovaný prostor

**TSA** Temporary Segregated Area, Dočasně vyhrazený prostor

**VFR** Visual Flight Rules, Pravidla pro let za viditelnosti