



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Kateřina Kozáčková

Kapacita vzdušného prostoru

Diplomová práce

2019

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

d ě k a n

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K621..... Ústav letecké dopravy

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Kateřina Kozáčková

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – PL – Provoz a řízení letecké dopravy

Název tématu (česky): **Kapacita vzdušného prostoru**

Název tématu (anglicky): Airspace Capacity

Zásady pro vypracování

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

- Kapacita vzdušného prostoru a její současná omezení
- Evropský přístup ke zvyšování kapacity a budoucí možnosti
- Zhodnocení současné situace - určení kapacity
- Prognóza vývoje letecké dopravy a nutné změny pro pokrytí plánovaného nárůstu letecké dopravy
- Klady a zápory zvyšování kapacity



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: EUROCONTROL: Sector Capacity Assessment
SESAR: Increasing ATM Capacity projects
ICAO: Global Air Navigation Plan

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **27. července 2018**
(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: **28. května 2019**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D.
vedoucí
Ústavu letecké dopravy



doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Kateřina Kozáčková
jméno a podpis studenta

V Praze dne 27. července 2018

Fakulta dopravní

Kapacita vzdušného prostoru

Diplomová práce

Květen 2019

Kateřina Kozáčková

Abstrakt: Diplomová práce se zabývá problematikou současné kapacity vzdušného prostoru v Evropě. V souvislosti s předpokládaným růstem letového provozu v nadcházejících letech, se zabývá technologickými a operačními možnostmi k zabezpečení budoucích nároků na kapacitu. Cílem práce je studie potenciálních možností kapacity v prostředí bez omezení lidského faktoru. K tomuto účelu byl využit koncept *free flight*, v jehož prostředí byla provedena simulace.

Abstract: The thesis focuses on today's capacity situation in European airspace. There are technological and operational assumptions to be defined that might be necessary to deal with the increasing demands of traffic growth. The aim of the thesis is to study the airspace capacity potential without human factor constraints. For this purpose, a fast-time simulation in the environment of free flight was conducted.

Klíčová slova:

Kapacita vzdušného prostoru, Jednotné evropské nebe, vzdušný prostor volných tratí, Free flight, ASAS

Key words:

Airspace capacity, Single European Sky, Free route airspace, Free Flight, ASAS


Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně, a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užívání 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 27.5.2019



Kateřina Kozáčková

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu práce doc. Ing. Jakubu Krausovi, Ph.D. za odborné vedení, rady a konzultace v průběhu psaní této práce.

Dále bych chtěla poděkovat Ing. Petrovi Jonášovi za zprostředkování dat k praktické části práce, Ericu Hoffmanovi a Lukáši Svatoňovi za odborné konzultace týkající se problematiky Free flight a Free Route Airspace. Velké díky patří Jiřímu Kolářovi za úvod do světa matlabu a za jeho neskutečnou ochotu a trpělivost při konzultacích, a Přemyslu Volfovi z AgentFly Technologies za pomoc při praktické části práce.

V neposlední řadě děkuji své rodině a příteli za podporu po celou dobu mého studia.

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Kapacita vzdušného prostoru a její současná omezení.....	11
2.1 Definice kapacity a propustnosti.....	11
2.2 Plánování a organizace letového provozu	12
2.2.1 Uspořádání vzdušného prostoru (ASM)	12
2.2.2 Uspořádání toku letového provozu (ATFM)	13
2.2.3 Řízení letového provozu (ATC)	14
2.3 Limitující faktory současnosti.....	14
2.3.1 Lidský faktor	14
2.3.2 Technická omezení	16
2.3.3 Komplexita provozu.....	17
2.4 Specifika evropského provozu	18
3. Evropský přístup ke zvyšování kapacity a budoucí možnosti	21
3.1 Single European Sky.....	21
3.1.1 Program SESAR.....	22
3.1.2 Reorganizace vzdušného prostoru	24
3.1.3 Free route airspace (FRA)	25
3.2 Civilně-vojenská spolupráce.....	28
3.2.1 Flexible use of airspace (FUA)	28
3.2.2 Advanced flexible use of airspace (AFUA)	29
3.3 Free flight airspace	32
4. Technologické předpoklady budoucích ATM systémů.....	41
4.1 Přehledové systémy.....	41
4.1.1 Mód S.....	41

4.1.2	ADS (Automatic dependent surveillance).....	44
4.1.3	ASAS.....	48
4.2	Airborne safety nets	50
4.3	Navigační výkonnost.....	55
5.	Situace v českém vzdušném prostoru	57
5.1	Charakteristika prostoru	58
5.2	Implementace systému volných vzdušných tratí (FRA).....	59
5.3	Kapacita českého vzdušného prostoru	60
6.	Návrh modelu.....	63
6.1	Analýza dat.....	63
6.2	Definování podmínek simulace	66
6.3	Výsledky simulace.....	67
7.	Závěr	72
	Seznam použitých zdrojů	74
	Seznam zkratk.....	78
	Příloha A – Spodní vzdušný prostor FIR Praha	80
	Příloha B – Horní vzdušný prostor FIR Praha	81
	Příloha C – Kapacitní hodnoty sektorů ACC Praha	82
	Příloha D – Kapacitní limity ACC Praha pro redukované tratě.....	83

1. Úvod

Letecká doprava v posledních letech zažívá výrazný celosvětový rozmach. Díky obecně se zvyšující kvalitě života a ekonomickému růstu napříč Evropou se letecká doprava stává dostupnější pro mnohem větší okruh populace. Obzvláště v Evropě, kde dnes zauímají čím dál výraznější postavení nízkonákladové aerolinky, vznikla velká konkurence mezi nízkonákladovými a klasickými dopravci. Ti na tento trend museli zareagovat, což se projevilo hlavně na cenách letenek. Zvyšující se poptávka po letecké přepravě tak klade vysoké nároky nejen na letecké dopravce, ale hlavně na systémy ATM, které musí zabezpečit poskytování odpovídajících služeb, a především na kapacitu vzdušného prostoru.

V posledních letech se Evropa každoročně potýká s nárůstem provozu, který v některých evropských střediscích již dosahuje kapacitních limitů. Předpovědi naznačují, že v případě přetrvávajícího růstu provozu již stávající systémy nebudou schopny zabezpečit požadovanou kvalitu služeb. Kapacita nejvytěžovanějších středisek je ve špičkových časech prakticky vyčerpaná, což se nejvíce projevuje na zvyšujícím se zpoždění, odkláněním letadel z plánovaných tratí a na celkovém neefektivním průběhu letu. Přetíženost horního vzdušného prostoru přitom ovlivňuje i efektivitu evropských letišť, kde jsou často odlety limitovány právě jeho přetížením.

Kapacita vzdušného prostoru je tak aktuálně jedním z hlavních problémů evropského letového provozu. Stávající systém v Evropě se ve své současné podobě ukázal být neefektivní, a předpokládá se, že s dalším růstem letecké dopravy v nadcházejících letech by již nebyl schopný se efektivně ani bezpečně vypořádat.

Prognózy v dlouhodobém časovém horizontu - vzhledem k narůstajícímu objemu provozu, stejně jako zvyšujícím se poptávkám po letecké přepravě - naznačují do budoucna nevyhnutelnou změnu v úloze řídicího letového provozu. Dnes je řídicí stěžejní prvek celého systému, na kterém závisí schopnost poskytování letových provozních služeb, a jehož zatížení má přímý vliv na kapacitu sektoru. Tato práce je založená na předpokladu, že k uspokojení rostoucích nároků na kapacitu a zabezpečení plynulého a efektivního provozu bude nezbytné provést změny v celém současném systému struktury vzdušného prostoru.

Cílem diplomové práce je zhodnocení současné situace ve vzdušném prostoru nad Evropou, definování požadavků na kapacitu vzdušného prostoru v souvislosti s meziročním růstem letecké dopravy a rozbor zaváděných opatření. V druhé části se práce zaměřuje na možný vývoj letecké dopravy ve střednědobém až dlouhodobém časovém horizontu. Vychází přitom z předpokladu, že technologická úroveň palubního vybavení a navigačních prostředků v letadlech dosáhne takové úrovně, kdy již letecká doprava nebude limitovaná lidským faktorem, tedy už nadále nebude potřeba zajišťovat řízení letového provozu na centrální úrovni z pozice řídicího letového provozu, ale posádka bude sama schopna zodpovídat za bezpečnost a průběh celého letu. Vzhledem ke složitosti a komplexnosti tohoto tématu se práce zabývá pouze en-route kapacitou v horním vzdušném prostoru, a souvislost s kapacitou letišť a koncových řízených oblastí není v práci podrobněji rozebírána.

Cílem práce je určení potenciálních možností kapacity vzdušného prostoru v případě, že odpadne omezení lidského faktoru. K vyloučení lidského faktoru byl vybrán *koncept free flight*, v jehož prostředí byla provedena simulace ke zjištění potenciálních možností kapacity prostoru nad Českou republikou.

2. Kapacita vzdušného prostoru a její současná omezení

2.1 Definice kapacity a propustnosti

Na kapacitu lze pohlížet z různých hledisek. Dle Eurocontrolu je kapacita definována: „*The number of aircraft that can be fitted into ATC sectors, keeping in mind aircraft separation and safety standards, area navigation direct routings and other factors.*“ [1]

Z definice tedy kapacita vzdušného prostoru vyjadřuje maximální počet letadel, které je sektor schopný pojmout při zachování bezpečnosti a plynulosti letového provozu. Tím se rozumí především dodržení minimálních rozstupů mezi letadly a v maximální možné míře dodržení tratě letového plánu, se snahou o přímé tratě (direct routes).

Definice ICAO¹ dává kapacitu do souvislosti s určitým časovým obdobím, kde kapacita vyjadřuje maximální počet letadel, která mohou být systémem přijata během určitého časového intervalu. [2]

Nejčastěji se lze setkat s hodinovou kapacitou prostoru, přičemž maximálním počtem letadel se rozumí množství trvale udržitelného toku provozu, aniž by došlo k ohrožení bezpečnosti. Kapacitu každého řízeného sektoru, či řízené oblasti by měl stanovit příslušný úřad letových provozních služeb (ATS).

Pro vyhodnocování kapacity předpis L4444 definuje následující faktory [3]:

- Úroveň a druh poskytovaných služeb ATS
- Strukturální složitost řízené oblasti, řízeného sektoru, popř. letiště
- Pracovní zátěž řídicího – zahrnující úkony řízení a koordinace
- Typ komunikačních a navigačních systémů, jejich technická spolehlivost i využitelnost náhradních systémů
- Použitelnost ATC systémů poskytujících řídicímu podpůrné a varovné funkce

Dalšími faktory, které mohou ovlivnit výslednou kapacitu jsou faktor počasí, navigační vybavení letadel v daném prostoru (požadavky na přesnost a integritu) a jakékoliv jiné nenadálé situace, které mohou ve vzdušném prostoru vzniknout.

¹ ICAO International Civil Aviation Organization - Mezinárodní organizace pro civilní letectví

2.2 Plánování a organizace letového provozu

K zajištění bezpečného, ale především ekonomického a efektivního provozu v dlouhodobém časovém intervalu již nestačí jenom efektivní opatření aplikovaná v průběhu letu, ale je nezbytné zabývat se potenciálním problémem přetížení s časovým předstihem. Z tohoto důvodů byl zřízený systém uspořádání letového provozu ATM (Air traffic management), jenž je zodpovědný za veškeré činnosti související s plánováním, organizací a řízením letového provozu, nejen po dobu letu, ale i v rámci jeho plánování a následného vyhodnocování.

Systém ATM zabezpečují 3, vzájemně úzce spolupracující, složky – **služba řízení letového provozu ATC** (Air traffic control), **služba uspořádání toku letového provozu ATFM** (Air traffic flow management) a **uspořádání vzdušného prostoru ASM** (Airspace management).

2.2.1 Uspořádání vzdušného prostoru (ASM)

Služba uspořádání vzdušného prostoru ASM zajišťuje přidělování vzdušných prostorů všem uživatelům na základě jejich požadavků. Hlavním smyslem je uspokojit požadavky všech uživatelů takovým způsobem, aby nedošlo k přetížení systému. Proto je prováděna ve třech úrovních – strategické, předtaktické a taktické. Služba ASM je popsána v AIP, části ENR 1.4. [4]

Strategickou úroveň v ČR představuje Úřad pro civilní letectví a Ministerstvo obrany, zastoupené ODVL SDK MO (Odbor dohledu nad vojenským letectvím sekce dozoru a kontroly MO). Předtaktická úroveň je zastoupená civilně-vojenským pracovištěm pro uspořádání vzdušného prostoru AMC (Airspace management cell) sídlícím v Jenči. Pracoviště AMC přiděluje dočasně rezervované a dočasně omezené prostory jednotlivým uživatelům vzdušného prostoru. Na základě žádostí od všech uživatelů vytváří na každý den **Plán využití vzdušného prostoru (AUP – Airspace Use Plan)**, ve kterém jsou publikovány všechny prostory, které uživatelé očekávají, že budou daný den využívat, včetně vertikálního vymezení a časového omezení.

Taktická fáze probíhá v den provozu a provádí ji jednotliví uživatelé vzdušného prostoru aktivováním a deaktivováním svých prostorů, které mají publikované v AUP. Tato aktivace a deaktivace je prováděna s ohledem na aktuální využívání každého prostoru, přičemž po

dohodě mezi uživateli může dojít v rámci koncepce pružného využívání vzdušného prostoru FUA (Flexible use of Airspace, viz kap. 3.2.1) k vypůjčení prostoru na určitou dobu.

2.2.2 Uspořádání toku letového provozu (ATFM)

Služba uspořádání toku letového provozu ATFM zajišťuje plánování a regulaci letového provozu pro oblasti s vysokou hustotou provozu tak, aby bylo zabezpečeno co nejefektivnější a nejekonomičtější využití vzdušného prostoru v jakékoliv denní a roční době. Jejím hlavním cílem je zabránit přetížení vzdušného provozu koordinovaným řízením a případným usměrněním provozu v souladu s deklarovanou kapacitou. Službu ATFCM v Evropě zajišťuje operační **středisko NMOC – Network Manager Operations Centre**, které nahradilo dřívější CFMU (Central flow management unit). V případě, že v některé oblasti dojde k dosažení maximální kapacity, je nutné další provoz regulovat buď odklonem z plánované trati, nebo posunutím odletového slotu. Proto je obecnou snahou systému ATFM provádět opatření v takovém čase, aby se přetížení v maximální možné míře předcházelo.

Proto řízení toku letového provozu probíhá ve třech fázích – strategické, předtaktické a taktické plánování.

Strategická fáze začíná více než jeden rok před a končí 7 dní před plánovaným letovým dnem. V této fázi se NMOC snaží spolu s poskytovateli LPS předpovědět požadovanou poptávku po službách v každé oblasti, která je předmětem letových provozních služeb. Vychází jak ze statických dat za předchozí období, tak z plánů leteckých dopravců na nadcházející sezónu, zavádění nových linek apod. Dále bere v potaz přepokládanou dostupnost letových cest, konání velkých sportovní událostí (např. Olympijské hry), vojenská cvičení a jiné události. Výsledkem této fáze je Network Operations Plan, který vychází dvakrát ročně.

V předtaktické fázi, která začíná 6 dní před konkrétním dnem, dochází ke zpracování požadavků na vzdušný prostor od všech uživatelů a porovnáním s očekávanou dostupnou kapacitou.

Taktická fáze probíhá v den provozu, kdy dochází ke konečným opatřením v rámci optimalizace toku letového provozu – aktivováním či deaktivováním pracovišť v rámci ACC středisek v závislosti na očekávaném provozu, přidělováním odletových slotů, a případnými odklony letů z přetížených letových cest.

2.2.3 Řízení letového provozu (ATC)

Služba řízení letového provozu (ATC) má dle předpisu L11 za cíl: „zabraňovat srážkám letadel, srážkám letadel na provozní ploše a s překážkami na této ploše a udržovat rychlý a spořádaný tok letového provozu.“ [6]

Služba řízení letového provozu je v České republice zajišťována stanovištěm Řízení letového provozu České republiky, s.p se sídlem v Jenči.

2.3 Limitující faktory současnosti

2.3.1 Lidský faktor

V případě řízení letového provozu je dnes nejslabším článkem systému člověk. Zatímco v technologické oblasti stále dochází k vývoji a posouvání možností systému, možnosti lidského faktoru už narazily na své hranice.

Pod pojmem „*workload*“ neboli zatížení řídicího, si lze představit množství a náročnost jednotlivých řídicích úkonů, které řídicí provede v určitém časovém intervalu. Čím více úkonů je potřeba vyřešit, a čím je jejich řešení obtížnější, tím více stoupá i mentální zátěž řídicího. Člověk se tak může dostat jednak do časového stresu, nebo narazit na příliš složitý problém, který v časovém presu nebude schopný včas nebo bezpečně vyřešit. Objem provozu, který je řídicí schopný zvládnout, tedy určuje potřebné množství otevřených sektorů.

Workload zahrnuje jak rutinní úkony, které nevyžadují zvýšenou pozornost (např. převzetí a předání letadla), tak úkony složitější, např. spojené se zajištěním dekonflikce, které jsou časově náročnější a budou vyžadovat delší dobu na vyřešení. Je zřejmé, že i když mohou mít dva řídicí stejný provoz, bude *workload* velmi subjektivní, jelikož každý člověk (ať už sebelíp vycvičený) bude vnímat náročnost konkrétního úkonu odlišně. Aktuální zátěž je podle FAA (1995) ovlivněna nejen aktuální provozní situací, volbou řídicí strategie, ale i dostupností a stavem technického vybavení a individuálními vlastnostmi [5]. Celkové psychické i fyzické rozpoložení člověka, množství zkušeností, míra tolerance stresu, to vše může mít v konečném důsledku velký podíl na výsledné zátěži. Díky tomu je přesné matematické vyjádření prakticky nemožné.

Možností, jak změřit a kvantitativně vyjádřit *workload* bylo navrženo několik, z nichž asi nejznámější je na základě procentuálního pracovního vytížení, definovaná Eurocontrole v modelu CAPAN (Capacity Analyzer) [8]. Ta pro stanovení zátěže využívá procentuální podíl času, který řídicí stráví aktivním řešením provozu (zaznamenané pracovní vytížení), v časovém intervalu 1 hodiny. Vyhodnocení zátěže probíhá dle tabulky 1.

Tab. 1 Hraniční hodnoty zatížení [8]

Zatížení	Interpretace	Zaznamenané pracovní vytížení během 1 h
70 % a více	Přetížení	42 min a více
54 % - 69 %	Vysoká zátěž	32-41 minut
30 % - 53 %	Střední zátěž	18-31 minut
18 % - 29 %	Nízká zátěž	11-17 minut
0 % - 17 %	Velmi nízká zátěž	0-10 minut

O přetížení tedy hovoříme v případě, že zátěž převyšuje 70 %, což odpovídá 42 a více minutám strávených aktivním řízením během 1 hodiny. Pro úplnost je potřeba dodat, že měření zahrnuje pouze identifikovatelné úkony, které řídicí provádí. Předpokládá se, že během zbylých 18 minut řídicí „neodpočívá“, ale udržuje si stálý situační přehled ve svém prostoru zodpovědnosti, provádí kontrolu dodržování vydaných povolení apod.

Modelů, zabývajících se vztahem mezi kapacitou prostoru a pracovním zatížením řídicího existuje několik. Jelikož už ale pro řídicí není možné za stávajících podmínek v rámci bezpečnosti navýšit svou mentální kapacitu pro větší počet letadel, je potřeba hledat řešení v jiných oblastech. Největší možnosti dnes leží především v oblasti technologií, která nabízí prostor pro rozvoj technického vybavení na palubě letadla, díky kterému by mohly posádky být do budoucna méně závislé na ATC, případně plně zodpovědné za průběh letu. Druhý nutný směr budoucího vývoje leží ve vývoji přehledových zařízení, která by měla řídicímu usnadnit samotné řízení.

Jelikož smyslem této práce je určit, jaké jsou možnosti kapacity prostoru v případě, že odpadne omezení lidského faktoru, v další části práce již *workload* ani vliv řídicího nebude uvažován.

2.3.2 Technická omezení

V případě eliminování lidského faktoru bude kapacita prostoru závislá téměř výhradně na úrovni automatizace systémů. Výsledná kapacita by měla zohledňovat aktuální stav a dostupnost technologických zařízení, přičemž kritériem by mělo zabezpečení minimální úrovně bezpečnosti. Lze tedy říct, že výsledná kapacita je jakýmsi kompromisem mezi obslužením co největšího počtu letadel a udržením bezpečnostního rizika pod stanovenou hranici. Typicky pravděpodobnost vzniku incidentu nesmí překročit stanovenou hodnotu.

Bezpečnost v každém řízeném vzdušném prostoru zajišťují bezpečnostní standarty, které definují požadavky na zajištění minimální úrovně bezpečnosti. Pro letadla ve vzduchu je jejich bezpečnost zabezpečena minimálními rozstupy. V řízeném prostoru musí být od letadla letícího podle pravidel IFR² zajištěna buď horizontální nebo vertikální separace v každém okamžiku letu. Porušení separace vede ke vzniku konfliktu. Pro definování konfliktu existuje okolo každé letadlo tzv. **ochranná zóna** (Protected zone), což je pomyslný prostor ve tvaru válce, který nesmí být narušen žádným jiným provozem. Velikost válce je daná dvojnásobkem minimálních rozstupů. Dnešní minima rozstupů jsou stanovena na 5 NM a 1000 ft (300 m), případně 2000 ft nad FL 410³. Ochranná zóna válce tedy bude mít průměr 10 NM a výšku 2000 ft (resp. 4000 ft nad FL 410).

Stanovení minimálních požadovaných rozstupů se bude odvíjet od typu, kvality a dostupnosti technologických systému, a to jak palubních zařízení, tak i pozemní infrastruktury. Jde především o přesnost a dostupnost přehledových zařízení, navigačních a komunikačních systémů (dále jen CNS systémy). Ve zjednodušeném scénáři velikost ochranné zóny závisí na spolehlivosti navigační informace, co se týče parametrů přesnosti, integrity, dostupnosti a spojitosti, a kvalitě přehledové informace, tzn. rychlost přenosu a přesnost zobrazení vlastní polohy posádce i řídicímu. Dále je dnes potřeba vzít v úvahu časové prodlení při přenosu informací, výkonnost komunikačních systémů (rádiové nebo datové komunikace), která ovlivňuje čas a kvalitu přenosu informací posádce, dobu potřebnou pro *readback*⁴ a rezerva

² IFR Instrument flight rules – pravidla létání podle přístrojů

³ Minima vertikálního rozstupu musí být:

- a) 1000 ft pod FL 290 a 2000 ft v této letové hladině nebo nad ní, nebo
- b) ve stanoveném vzdušném prostoru, který je předmětem regionálních postupů ICAO: 1000 ft pod FL 410 a 2000 ft v této letové hladině nebo nad ní (viz předpis L4444, Hlava 5, část 5.3.2)

⁴ *Readback*

ponechaná pro přeslechy či nedorozumění mezi pilotem a řídícím. V neposlední řadě je doba, potřebná pro detekci a řešení konfliktů, kterou dnes zabezpečuje řídící letového provozu, a čas posádky zareagovat na vydané instrukce.

Úroveň CNS systému je dále podrobněji rozebrána v kapitole 4 této práce.

2.3.3 Komplexita provozu

Pokud bychom vypustili lidský faktor, jakožto omezující prvek, a podívali se na problematiku kapacity z pohledu omezení, vyplývajícího z charakteru provozu, je zřejmé, celková struktura a míra komplikovanosti provozu bude mít rozhodující vliv na konečnou kapacitu. Ve vztahu se zátěží řídicího se obvykle používá komplexita provozu. Tato veličina však dobře poslouží i k charakteristice vzdušného prostoru a provozní situace.

Komplexitu provozu si můžeme představit jako „složitost provozní situace“ v sektoru. Je zřejmé, že samotná hustota provozu nemá velkou vypovídající hodnotu o celkové situaci v prostoru, tedy i ve vztahu ke kapacitě bude pouze jedním z mnoha faktorů ovlivňujících konečnou kapacitu. Pokud si představíme prostor, skrz který poletí všechna letadla usazená na hladině se zajištěnými vzájemnými rozstupy 5 NM, bude komplexita provozu nízká a výsledný počet letadel, které se do prostoru vejde, bude vysoký. V reálném prostoru však neexistuje rovnoměrné rozložení provozu do celého objemu prostoru, protože letadla potřebují stoupat a klesat vzhledem k meteorologickým podmínkám, přiblížením na přistání, či z důvodu využití optimální letové hladiny pro co nejekonomičtější let. Pro takový provoz bude komplexita mnohonásobně větší, a kapacita prostoru tím pádem nižší.

Z předchozího odstavce vyplývá, že kapacita prostoru bude závislá na celkové komplexitě letového provozu. Na celková komplexita provozu budou mít vliv následující faktory [9]:

- Komplexita prostoru - fyzické vlastnosti sektoru
- charakteristika letového provozu (letové toky, vertikální pohyb aj.)
- Vnější faktory (počasí, omezení v důsledku vojenské aktivity, či stav a provoz zařízení a systémů...)

Zatímco komplexita prostoru, ovlivněná velikostí a tvarem prostoru, strukturou letových cest a množstvím konfliktních bodů, okolními stanovišti, bude neměnná, komplexita provozu bude v každém okamžiku jiná, a proto i její přesná hodnota v podstatě nemožná určit.

Při snaze, co nejpřesněji určit hodnotu komplexity provozu vzniklo několik studií a výzkumů zkoumajících vliv jednotlivých faktorů na výslednou komplexitu. V roce 2003 vydal Eurocontrol studii [8] porovnávající komplexitu vybraných evropských a amerických oblastních středisek. V ní pro určení komplexity definuje následující kategorie a veličiny:

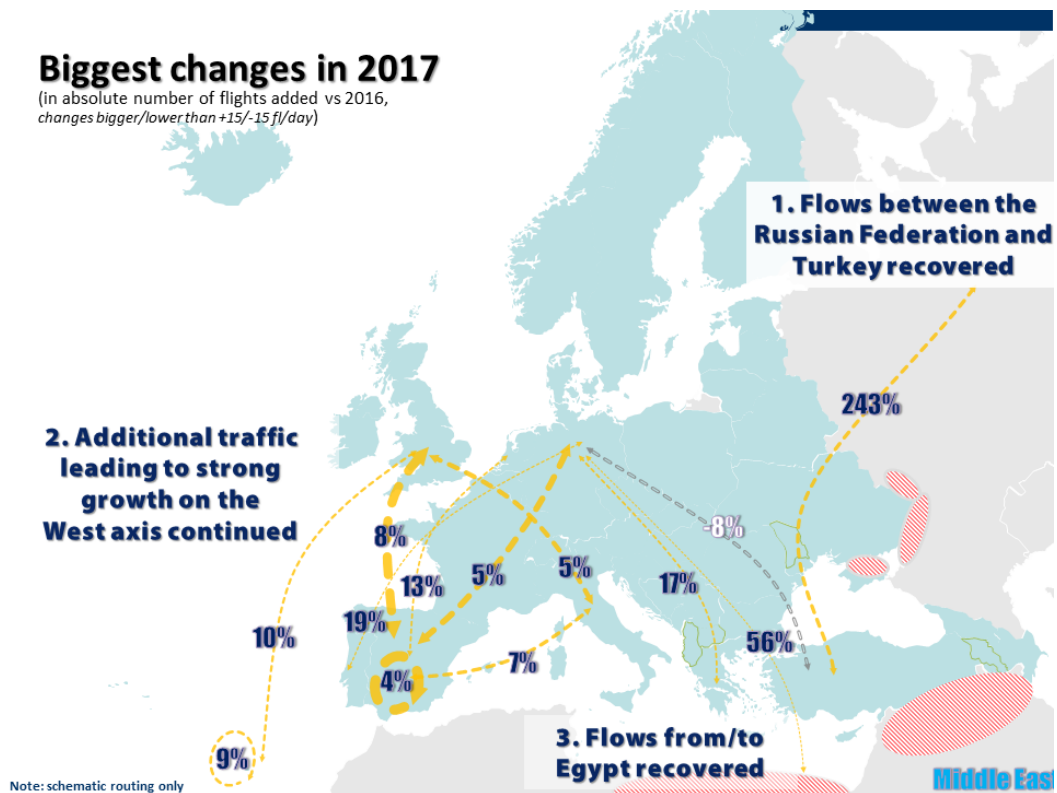
- Velikost prostoru – objem a povrch prostoru
- Charakteristika provozu – počet letů, počet řízených km, počet letových hodin, průměrná délka tratě, průměrný čas na trati
- Vertikální pohyb – změna letové hladiny na jednotlivý let, popř. průměrná změna hladiny na 100 km
- Okolní provoz (*Proximate pairs*)
- Upravená hustota provozu (*Adjusted density*)

Upravená hustota provozu (*Adjusted density*), jako jeden z faktorů popisujících komplexitu, vyjadřuje nerovnoměrnou distribuci provozu v prostoru. Zatímco „*Raw density*“ má vypovídající charakter pouze v případě pravidelného rozložení provozu do celého prostoru, „*adjusted density*“ bere v potaz např. nerovnoměrné zahuštění hladin, nebo oblévání vojenských prostorů.

2.4 Specifika evropského provozu

Podle předpovědi IATA z roku 2015 se počet přepravených cestujících ve světě zvýší do roku 2037 téměř dvojnásobně. Z nynějších asi 4 biliónů cestujících se v roce 2037 očekává nárůst až na 8,2 biliónů přepravených cestujících. Největší podíl se připisuje předpokládanému vzestupu asijského provozu, především v oblasti Asijského Pacifiku – od toho se očekává každý rok přírůstek až o 4,8 % cestujících. [11]

Nárůst letového provozu i nových cestujících se předpokládá i v Evropě, podle IATA by Evropa mohla vyprodukovat v roce 2037 až 1,9 biliónů cestujících [11]. Jenom v roce 2017 přitom evropské nebe zaznamenalo 10,6 mil přeletů, což oproti roku 2016 představuje nárůst o 4,3 % [12]. Největší změny v absolutním počtu letů jsou zobrazeny na obr. 1.



Obr. 1 Nejvýznamnější změny pohybů v roce 2017 [12]

Nejvýraznější podíl je připisován zotavující se ekonomice Ruské Federace, tok provozu mezi Ruskem a Tureckem se zvýšil oproti roku 2016 o 243 %. Provoz mezi Ruskem a zbytkem Evropy se zaznamenal nárůst o 23 %, což ovlivnilo především oblastní střediska Rumunska a Bulharska.

Druhý významný nárůst zaznamenal západní tok, především mezi Španělskem a Velkou Británií a mezi Španělskem a Německem. Za zmínku stojí i nárůst španělského vnitrostátního provozu o 4 %. Posledním výraznějším vliv má na svědomí obnova provozu mezi Evropou a Egyptem, který se postupně vrací na seznam turistických destinací. [12]

V současnosti se evropský vzdušný prostor potýká s neustále se zvyšující poptávkou po poskytování letových provozních služeb. Do roku 2040 se nad Evropou předpokládá až 16 mil pohybů ročně, podle některých scénářů až 20 mil [13]. Obecně se dá říci, že se růst provozu oproti předcházejícím rokům zpomaluje, především z důvodu stabilizace ekonomické situace ve většině evropských států, ale i z důvodu dosažení maximální kapacity některých evropských letišť, potažmo oblastních středisek. Kapacita těch nejvytěžovanějších středisek je ve špičkových časech prakticky vyčerpaná, což se nejvíce projevuje na zvyšujícím se zpoždění, odkláněním letadel z plánovaných tratí a na celkovým neefektivním průběhu letu.

Z evropských středisek byla z hlediska kapacity v roce 2017 nejvíce omezující oblast západní Evropy – konkrétně oblastní střediska Maastricht UAC, Karlsruhe UAC, Marseille, Brest, Bordeaux, ale také oblast Nicosia ve východní Evropě, která zaznamenala suverénně nejvyšší nárůst provozu. Společně tyto oblasti způsobily téměř 70 % en-route zpoždění v Evropě. [14]

Kapacitní problémy způsobily v roce 2017 téměř 60 % všech evropských traťových zpoždění, přičemž z analýz vyplývá, že podíl zpoždění z důvodu kapacitních omezení se v posledních 4 letech neustále zvyšuje [14]. Přetíženost horního vzdušného prostoru přitom ovlivňuje i efektivitu evropských letišť, kde jsou často odlety limitovány právě jeho přetížením.

V porovnání s USA naráží Evropa na problém relativně malého prostoru, ve kterém operuje velké množství středisek, z nichž většina pracuje na národní úrovni. V současnosti v Evropě existuje 41 poskytovatelů letových provozních služeb (LPS) [14], jejichž oblast poskytování služeb po většinu času kopíruje státní hranice. Tato střediska jsou navíc dále dělena do několika sektorů. To vše má ovšem negativní dopady na kvalitu poskytovaných služeb.

Díky tomu jsou letečtí dopravci často limitováni jak při využití přímých tratí, tak dodržováním vstupních a výstupních podmínek, dohodnutých mezi sousedními středisky v tzv. **bilaterálních dohodách** (LoA - Letter of Agreement). Kvůli těmto omezením dochází často k mnohem méně efektivnímu letu – delší doba letu, zpoždění a s tím spojené vyšší náklady leteckých dopravců, vyšší spotřeba paliva a produkce emisí má vliv na životní prostředí, navíc dochází k většímu zatížení řídicích, kteří jsou vázání podmínkami v LoA.

Každoroční nárůst letecké dopravy a s tím spojený meziroční růst zpoždění naznačují, že stávající systém není schopný v nastávajících letech zabezpečit požadavky a zvyšující se nároky na kapacitu a propustnost vzdušného prostoru.

3. Evropský přístup ke zvyšování kapacity a budoucí možnosti

Kapacitní problémy letecké přepravy se v Evropě poprvé objevily počátkem 90.let minulého století. Důsledkem liberalizace evropského trhu došlo k prudkému nárůstu počtu cestujících, a tedy i provozu pro komerční účely, což se projevilo hlavně na zvyšujícím se zpoždění, které postupně ovlivnilo převážnou část Evropy. Snahy jednotlivých států vyřešit problémy se zpožděním po svém však vedly ještě k většímu chaosu a zhoršení situace, proto v roce 1997 přistoupilo 8 států střední Evropy (Bosna a Hercegovina, Česká republika, Chorvatsko, Itálie, Maďarsko, Slovensko, Rakousko a Slovinsko) k dohodě o zřízení Společného střeoevropského střediska (CEATS – Central European Air Traffic Services) a vytvoření společného horním vzdušném prostoru.

Cílem projektu bylo sjednocení letových provozních služeb všech států pod centrální řídicí středisko ve Vídni, a tím snížit rostoucí zpoždění letů a náklady spojené s poskytováním služeb. K otevření střediska mělo dojít už v roce 2004, ale v průběhu let se ukázalo, že sjednocení regionálních postupů a řídicích systémů nelze tak rychle realizovat. Do toho navíc vstoupilo přijetí nové legislativy v souvislosti s vytvořením Jednotného evropského nebe (viz kap. 3.1), proto k otevření střediska nikdy nedošlo, a v roce 2007 bylo od dohody CEATS upuštěno. [15]

3.1 Single European Sky

Projekt Single European Sky, v českém překladu Jednotné evropské nebe, byl spuštěný v roce 2004 v reakci na rostoucí problémy se zpožděním v Evropě. V současnosti je jedním z největších projektů v letectví, jehož cílem je umožnit kompletní reorganizaci služeb ATM a vytvoření jednotného horního vzdušného prostoru nad Evropou.

Projekt Single European Sky definuje tyto hlavní pilíře zájmu:

- Bezpečnost
- Kapacita
- Provozní náklady
- Životní prostředí

Hlavním cílem projektu SES je především poskytnout základní právní rámec potřebný k vytvoření jednotného evropského vzdušného prostoru, s cílem zabezpečit budoucí nároky na kapacitu a bezpečnost v Evropě. V roce 2004 byl vydán soubor 4 nařízení, označovaný jako *SES I package*, který obsahoval tato nařízení [16, 17]:

- **SES Framework Regulation** obsahující základní principy a organizační rámec pro vytvoření SES (členské státy musí vytvořit Národní dozorcí úřad (National Supervisory Authority) nezávislý na ANSPs)
- **Air Navigation Services Regulation** obsahuje principy pro stanovení poplatků za poskytované služby, navrhuje společný systém certifikace pro poskytovatele LPS
- **Airspace Regulation** definuje požadavky pro vznik funkčních bloků, tzv. FAB (Functional airspace block)
- **Interoperability Regulation** pro zajištění budoucí interoperability jsou definovány požadavky na systémy a procedury

V průběhu zavádění výše zmíněných opatření se objevilo několik problémů, a bylo jasné, že členské státy nejsou schopny tak rychle aplikovat vydaná nařízení. Proto byl v roce 2009 vydán SES II, který měl urychlit cestu k vytvoření SES. Mimo jiné stanovil konečný termín pro vytvoření funkčních bloků a převedl část pravomocí ATM na Network Manager. Aktuálně platný blok právních norem je obsažen v balíku předpisů SES II + z roku 2013, který by měl urychlit průběh reformy a zjednodušit dosavadní legislativu.

3.1.1 Program SESAR

Technologickou oblast projektu zabezpečuje program SESAR (Single European Sky ATM Research), jehož přesný program a cíle jsou definovány v **ATM Master Plan, 2015** [18]. SESAR má za úkol stanovit technologické požadavky k modernizaci ATM služeb ve všech fázích letu, od plánování, odbavování, přes vzlet, samotný průběh letu až po přilet do cílové destinace.

Hlavní cíle, které si SESAR stanovil do roku 2035⁵ [18]

- Až trojnásobné zvýšení kapacity
- Zvýšení bezpečnosti (10x)
- Snížení znečištění životního prostředí (Až o 10 % na let)

⁵ Cíle byly stanovené v roce 2005

- Snížení nákladů spojených s poskytováním ATM služeb až o 50%

Ve výše zmíněných oblastech si projekt stanovuje dílčí cíle, kterých by mělo být v Evropě dosaženo do roku 2035. V oblasti provozní je stěžejní celkové zvýšení efektivity poskytovaných služeb a snížení provozních nákladů. K tomu by mělo vést snižování poplatků za traťové a terminální služby. Stanovením jednotné sazby za přeletovou jednotku v celé oblasti Evropy se předpokládá, že dojde k efektivnějšímu využití vzdušného prostoru, plynulejšímu letovému toku a tím i výkonnějšímu systému poskytování letových a navigačních služeb.

S tím souvisí i využívání optimálních letových tras, zkrácení doby letu a úspora paliva, to vše by mělo mít příznivý dopad na životní prostředí a na snížení nákladů spojených s letem.

Na letištích se program chce zaměřit na výkonnější management v odbavovací fázi letu, což by mělo umožnit lepší plánování a organizaci celého letu. Důsledkem by mělo být zvýšení předvídatelnosti pro ostatní subjekty v systému a snížení zpoždění při odletu.

Co se týče technologických požadavků, je pro SESAR základem zajistit vzájemnou interoperabilitu ATM systémů všech subjektů zapojených do procesu letu pro usnadnění koordinace a předávání informací o průběhu letu. To by mělo umožnit sdílení většího množství dat v reálném čase mezi všechny dotčené stanoviště, a tím zvýšit předvídatelnost situace a zlepšit management plánování.

Další dílčí technologické cíle jsou založeny na:

- Vývoji automatizovaných funkcí systému
- Plném začlenění letišť a pozemních služeb do systému letového provozu a plánování letů
- Optimalizaci trajektorie letu
- Automatických systémech pro optimalizaci vzletu a přistání
- Využívání datové komunikace mezi palubou a zemí pro neurgentní zprávy
- Využití satelitní navigace pro všechny fáze letu

Samostatným bodem programu je umožnit navýšení kapacity jak samotných letišť, tak terminální a traťové kapacity. Toho plánuje dosáhnout pro traťové i terminální řízení zvýšením úrovně automatizace systému, která má snížit pracovní zátěž řídicího především

pro rutinní úkony. Další podpora systému by měla pomoci při detekování konfliktů ve středně dlouhém časovém horizontu (MTCD – Medium Term Conflict Detection) a při návrhu řešení konfliktu. V oblasti uspořádání letového provozu a toku letového provozu předpovídá nutné změny v přidělování prostorů pro větší dynamickou optimalizaci.

Pro zvýšení kapacity letišť je klíčové zaměřit se na současné kapacitní omezení při nízké dohlednosti, silném větru nebo při degradaci či částečné degradaci letištních systému. Druhým klíčovým řešením je zvýšení propustnosti vzletové dráhy, čehož by mělo být dosaženo jednak snahou snížit dobu obsazenosti dráhy a pokročilým plánováním pojezdění pro přílety a odlety, tak i lepším managementem při řazení letadel.

3.1.2 Reorganizace vzdušného prostoru

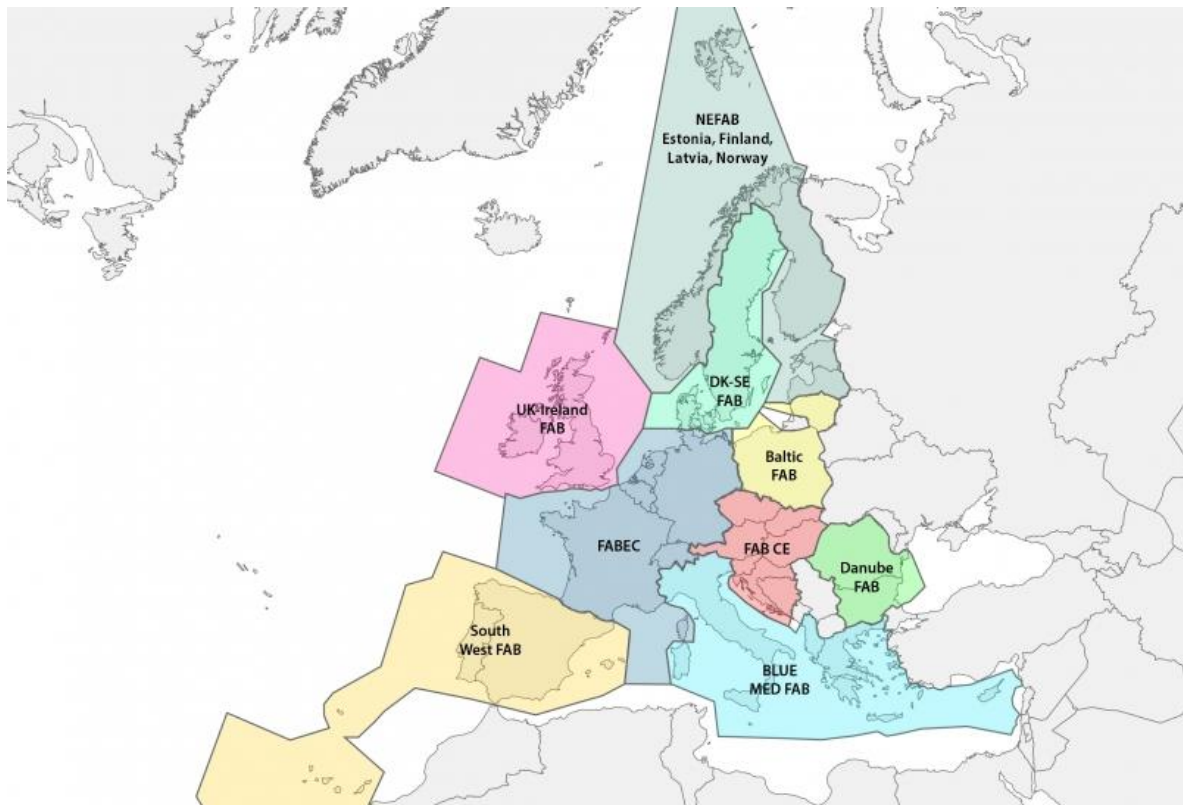
Potřeba efektivnějšího využití vzdušného prostoru je jedním z hlavních důvodů pro vznik jednotného vzdušného prostoru. Požadavky na reorganizaci a využití evropského vzdušného prostoru stanovuje nařízení EK č. 1070/2009, které je rozšířením nařízení EK č. 551/2004. V něm se říká, že: *„Rekonfigurace vzdušného prostoru by měla být založena na provozních požadavcích, bez ohledu na státní hranice.“* [19]

Řešením pro současnou „roztříštěnost“ evropského prostoru je vytvoření jednotného horního vzdušného prostoru, jehož hranice nebudou limitovány státními hranicemi jednotlivých států. Tímto řešením by mělo být vytvoření evropského FIRu v horním vzdušném prostoru (tzv. EUIR European Upper Flight Information Region), který by zahrnoval horní vzdušné prostory členských států EU a jim přilehlých prostorů evropských zemí mimo EU.

Podmínkou pro vytvoření jednotného prostoru je sjednocení a harmonizace postupů, technologií a překonání politických bariér. Vytvoření horního FIRu umožní zefektivnění využití vzdušného prostoru, jelikož horní prostor bude určen primárně pro přelety, zatímco dolní vzdušný prostor bude využit pro lety odlétávající nebo přistávající. Přidělení horního prostoru pod evropskou zodpovědnost předpokládá optimalizaci tratí, jelikož nebude třeba dodržovat strukturu letových tratí jednotlivých států ani dodržování koordinačních podmínek. Dělicí hladinou mezi horním a dolním prostorem by měla být FL 285. [19]

Existence jednotného prostoru zároveň dovolí rozdělení prostoru na funkční celky, tzv. FABy. **FAB (Functional airspace block)** je blok vzdušných prostorů, logicky uspořádaných na základně operačních potřeb, ve kterých je poskytování letových provozních služeb optimalizováno zvýšenou koordinací mezi poskytovateli LPS.

V Evropě by mělo vzniknout celkem 9 funkčních bloků, viz obr. 2. Česká republika by měla spolu s dalšími 6-ti státy vytvořit blok FAB CE (Central Europe).



Obr. 2 Funkční bloky v Evropě [20]

Vznik FABů by měl přispět ke všem cílům projektu SES (viz 3.1.1) - zvýšení bezpečnosti, kapacity a efektivity letů, snížení provozních nákladů, snížení dopadu na životní prostředí.

3.1.3 Free route airspace (FRA)

Zavedení systému volných tratí je jedním z dílčích kroků předcházejících vzniku FABů. Free Route airspace (dále jen FRA) neboli vzdušný prostor volných tratí je: „Vymezený vzdušný prostor, který umožňuje uživatelům volné plánování trati letu mezi definovanými vstupními a výstupními body, s možností vedení trati přes mezilehlé traťové body (publikované či nepublikované) bez ohledu na tratě letových provozních služeb, v souladu s dostupností

vzdušného prostoru. Lety v tomto prostoru zůstávají předmětem řízení letového provozu.“

[21]

Záměr o zavedení systému volných tratí byl poprvé představen v roce 2008 s cílem zvýšení efektivity letů, navýšení kapacity a zmírnění dopadu letectví na životní prostředí. Pro evropské státy povinnost zavedení FRA vyplývá z nařízení Evropské komise č. 716/2014, ve kterém je termín provozování FRA stanovený a 1. ledna 2022. [22]

Největší výhody, které FRA představuje jsou v souladu s předpoklady pro vytvoření SES:

- Snížení počtu uletěných km a snížení doby letu
- Úspora paliva a tím snížení celkových nákladů
- Snížení množství vyprodukovaných emisí a CO₂

V rámci kroku I podle *SESAR Conops Step I* [23] by měl FRA zahrnovat horizontálně území FIRů všech zúčastněných států, vertikálně potom prostor nad stanovenou výškou dohodnutou v rámci celého FABu. Dodržení vstupních a výstupních bodů je pro FRA nezbytné pro zajištění bezpečného přechodu mezi FRA prostorem a prostorem, kde je zachovaná struktura letových tras. V počátcích implementace zároveň vstupní a výstupní body zajistí větší předvídatelnost a snadnější koordinaci mezi sousedícími stanovišti.

Krok II potom předpokládá zavedení FRA jak v horním, tak dolním vzdušném prostoru, včetně provázání FRA s příletovými a odletovými tratěmi. Pro naplnění plného potenciálu FRA je potom stěžejní dosáhnout jednotné úrovně napříč Evropou, což umožní aplikování **cross-border operací**.

[23]

Současný stav implementace FRA v Evropě

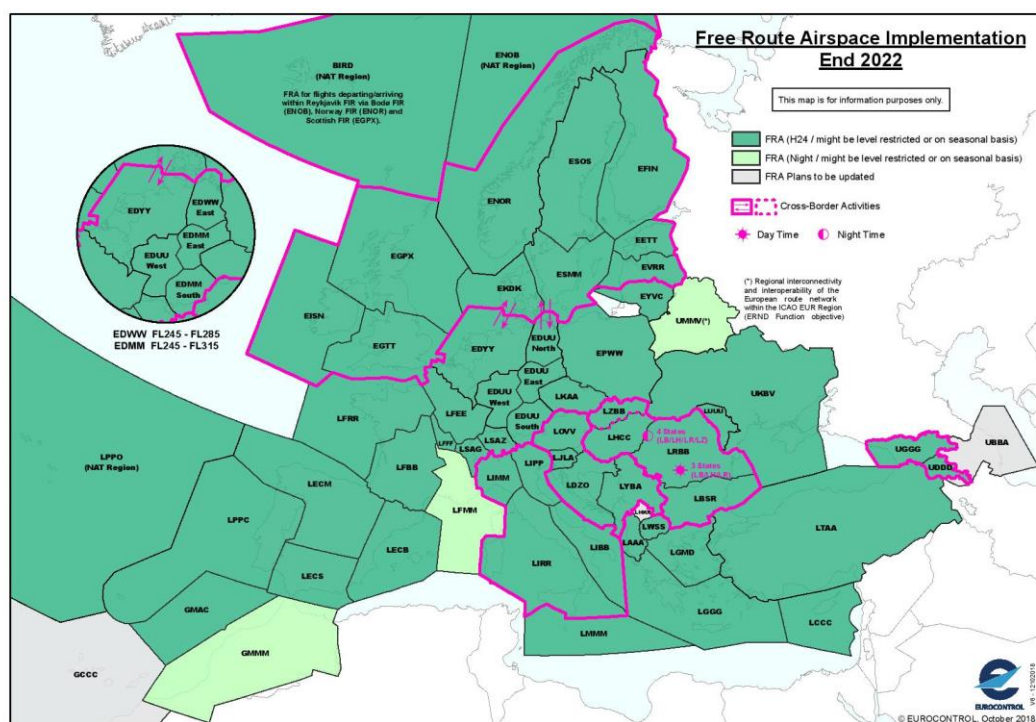
Cílem konceptu FRA je zavedení volných vzdušných tratí v celé Evropě s trvalou působností H24. V počátečních fázích implementace se však předpokládá postupné zavádění přímých tratí s časovým nebo s vertikálním omezením, především z důvodu zajištění určité míry předvídatelnosti a snížení počtu potenciálních konfliktů.

Největší úskalí při zavádění prostoru FRA spočívá v následujících bodech:

- Zajištění přechodu mezi FRA prostorem a prostorem se standardními letovými trasami (obzvláště v blízkosti letišť, kde je potřeba navázat na příletové a odletové tratě)
- V případě přesné struktury letových tratí jsou konfliktní body předem známé, u přímých, potažmo volných tratí, konflikt může nastat prakticky kdekoliv, což zhoršuje situační přehled řídicích
- Ve většině oblastí potřebná úprava sektorizace vzhledem ke změnám v letovém toku

V současnosti v Evropě probíhá postupné zavádění volných vzdušných tratí, s cílem dosažení FRA na celém území do roku 2022, předpokládaný stav implementace je zobrazen na obr. 3.

Na konci roku 2017 51 evropských oblastních středisek zavedlo buď plné, nebo částečné využití volných vzdušných tratí. Zatímco v méně vytižených oblastech byl koncept FRA úspěšně realizován (Portugalsko - Full FRA v roce 2019), v centrální části Evropy je postup pomalejší z důvodu výrazně hustějšího provozu. [21]



Obr. 3 Očekávaný stav implementace FRA na konci roku 2022 [21]

Na obr. 3 tmavě zelená barva představuje zavedení FRA s působností H24, světle zelená barva znamená noční využití přímých tratí. Cross-border oblasti jsou zobrazeny růžovou

čarou. Z obrázku je zřejmé, že plné zavedení volných tratí se v r. 2022 předpokládá pro většinu území Evropy.

3.2 Civilně-vojenská spolupráce

V oblasti efektivního využití vzdušného prostoru a k zabezpečení rostoucích nároků na využití vzdušného prostoru hraje civilně-vojenská spolupráce důležitou roli. V souladu s koncepcí SESAR je rozvoj spolupráce vojenské a civilní složky jedním s primárních cílů, jejímž hlavním smyslem je, aby se obě strany vzájemně neomezovaly, a aby bylo v rámci možností zabezpečeno uspokojení požadavků obou stran.

Specifické vojenské aktivity jako ochrana vzdušného prostoru, obranné mise, či mezinárodní vojenská cvičení si vyžadují zvláštní zacházení. V případě nedostatečné koordinace by mohlo dojít k výraznému omezení ostatních uživatelů, snížení propustnosti prostoru, růstu zpoždění a provozních nákladů, případně k ohrožení bezpečnosti.

Kvůli specifickým pravidlům⁶, která se vztahují k vojenským letům v souvislosti s vojenskými misemi a se zabezpečením vojenského výcviku, je nezbytné zajistit oddělení civilního provozu a vojenského provozu. Toho je v současné době ve většině Evropy dosaženo aktivováním dočasně omezených (TRA⁷) a dočasně vyhrazených prostorů (TSA⁸). Každá aktivace vojenského prostoru s sebou přináší omezení civilního sektoru. Oblétání prostorů a udržování bezpečných rozstupů vyžaduje nutné změny tratí letadel, zvýšení doby strávené v daném sektoru, zhuštění provozu a tím i navýšení počtu potenciálních konfliktů.

3.2.1 Flexible use of airspace (FUA)

Pro zvýšení flexibility a maximalizaci využití vzdušného prostoru pro všechny složky Evropská komise v roce 2005 přijala nařízení 2150/2005, které ustanovilo společná pravidla pro flexibilní využívání vzdušného prostoru. **FUA (Flexible Use of Airspace)** je koncept, podle něž:

⁶ Vojenské lety většinou bývají prováděny podle pravidel jiných než ICAO - OAT (Operational Air Traffic), zatímco na civilní provoz se vztahují pravidla ICAO - GAT (General Air Traffic)

⁷ TRA Temporary reserved area – dočasně omezený prostor

⁸ TSA Temporary segregated area – dočasně vyhrazený prostor

- Vzdušný prostor není určený jako čistě civilní nebo vojenský, ale je uživatelům přidělován na základě jejich žádosti
- Jakékoliv rozdělení vzdušného prostoru je dočasné, založené na reálném využití na dobu určitou
- Přilehlé vzdušné prostory nejsou limitovány státními hranicemi

[24]

Koncept FUA byl uveden s cílem navýšení kapacity a propustnosti, posílení civilně-vojenské koordinace, efektivnějším využitím vzdušného prostoru.

Koncept FUA je postaven na následujících pravidlech [25]:

- Koordinace mezi civilní a vojenskou složkou by měla probíhat na třech úrovních - strategické, před-taktické a taktické úrovni (viz kap. 2.2.1)
- Spolupráce mezi složkami ASM, ATFM, ATS by měla probíhat na všech třech úrovních
- Aktivace prostorů by měla být pouze dočasnou záležitostí, využívaná pouze po nezbytně nutnou dobu a s ohledem na aktuální provozní situaci
- Koncept FUA by měl být aplikován i přes státní hranice/přes hranice FIR

V praxi realizace FUA probíhá na úrovni jednotlivých uživatelů prostorů, kteří svůj přidělený prostor aktivují pouze na dobu, po kterou budou prostor skutečně využívat. Ve zbývajícím čase (mimo aktivaci) je tak prostor k dispozici pro ostatní uživatele. Za přidělení prostorů konkrétním uživatelům je zodpovědné národní středisko AMC (Airspace Management Cell, viz kap. 2.2.1), které seznam přidělených prostorů zveřejňuje každý den v AUP. Aktuální změny o opravy jsou potom zveřejněny v UUP. Pro letecké dopravce jsou všechny aktuální informace zveřejněny v EAUP/ EUUP (European AUP/UUP) přes NOP portál nebo zprávy eAMI. [24]

3.2.2 Advanced flexible use of airspace (AFUA)

Pokročilým využíváním vzdušného prostoru se dále zabývá koncepce **AFUA Advanced Flexible Use of Airspace**, jejímž smyslem je umožnit větší flexibilitu využívání prostoru aplikováním dynamického managementu plánování a řízení ve všech fázích letu. AFUA si klade za cíl zajistit větší variabilitu při návrhu vzdušného prostoru a současně nabídnout kompromis pro vojenské operace a plynulý letový tok. Koncept AFUA byl uveden v *SESAR*

Concept of Operations Step 1 [23], který slouží jako výchozí dokument operačních postupů projektu SESAR.

Jedním z řešení pro flexibilnější strukturu vzdušného prostoru jsou tzv. MVPA.

MVPA Military Variable Profile Area

V závislosti na typu vojenské mise se může lišit potřebná velikost prostoru. Pro některé mise může být dostačující prostor 20x20 NM, pro jiné může být potřebný prostor větších rozměrů. Podobně různorodé mohou být požadavky na vertikální hranice. S ohledem na plnění vojenských úkolů nabízí MVPA větší flexibilitu při využívání vzdušného prostoru pro civilní složku. Zatímco klasické TRA/TSA jsou standardizovaného rozměru, vojenské prostory typu MVPA jsou rozčleněny na menší podprostory, z nichž na základě aktuální provozní situace a konkrétních požadavků uživatele mohou být aktivovány pouze některé z nich. Koncept VPA především nabízí větší „tvárnost“ prostorů a přizpůsobení aktuální provozní situaci. Konstrukce VPA by měla umožňovat několik možných kombinací pro aktivaci a využití prostoru s ohledem na strukturu a aktuální využití letových tratí. [23]

Dynamická konfigurace vzdušného prostoru

Nejvyšší úroveň flexibility při organizaci struktury vzdušného prostoru nabízí **koncept dynamické konfigurace DAC (Dynamic airspace configuration)**. Úplná integrace ATM služeb a jejich systémů se systémy uživatelů prostoru (leteckými dopravci) je dnes stále limitovaná technologickým vybavením a nejednotnými operačními postupy. Pro uživatele v současnosti není možné získat přístup k reálně aktualizovaným informacím ohledně traťových omezení a stavu provozní situace u jednotlivých poskytovatelů ATM služeb.

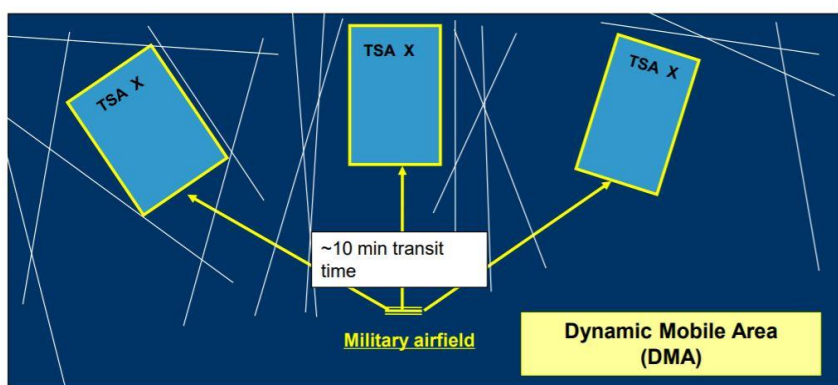
Zvýšením všeobecného povědomí o provozní situaci se předpokládá větší flexibilita při řešení případných kapacitních omezení.

DAC směřuje od klasické struktury vzdušného prostoru k flexibilní konfiguraci, založené na dynamickém managementu řízení a plánování. Design celého prostoru a příslušných sektorů bude přizpůsobený aktuální provozní situaci, umožní pružnější změny v konfiguraci prostoru vzhledem k reálným požadavkům uživatelů tak, aby bral v úvahu optimální trajektorie letů, předpokládaný nárůst provozu i vojenské aktivity. [26]

Nejvyšší úroveň flexibility nabízí koncept **DMA (Dynamic mobile areas)**, ve volném překladu *koncept dynamicky posuvných prostorů*.

Přístup DMA nabízí možnost podat požadavek na prostor specifikovaných rozměrů a konkrétní časové období, a na základě očekávané provozní situace systém vyhodnotí nejvhodnější polohu prostoru. Podle úrovně flexibility jsou v teoretické rovině definovány DMA trojího typu:

DMA I – prostor stanovených horizontálních i vertikálních rozměrů a požadované časové období jsou žadatelem zadány do systému, nejvhodnější poloha a čas je vyhodnocena CDM⁹ systémem v souladu s provozní situací, vyhodnocení polohy DMA bere v úvahu i vylánovanou trasu do prostoru (Mission Trajectory), např. 10 minut od základny (viz obr. 4).



Obr. 4 DMA I [27]

DMA II - definovaný prostor stanovených rozměrů a požadovaného časového rozmezí, aktivovaný kdekoli podél trajektorie letu (MT), v průběhu letu může být aktivovaný a deaktivovaný ve specifických časových úsecích

DMA III - pohyblivý prostor okolo pohybujících se letadel (v podstatě bublina okolo letadel)

[27]

⁹ CDM Collaborative Decision Making – koncept optimalizace provozu letišť

3.3 Free flight airspace

Nejpokročilejším návrhem struktury vzdušného prostoru z hlediska vyspělosti systému je koncept *Free Flight airspace (FFAS)*, v němž je letadlům umožněn volný pohyb po jimi preferované trati, bez ohledu na přeletové body, či omezení vydané řízením letového provozu, za předpokladu zajištění vlastních rozstupů od okolního provozu. Otázkami okolo free flight konceptu a jeho realizace se zabývalo několik studií již před rokem 2000, J. M. Hoekstra v roce 2001 představil studii realizace *free flight* konceptu [28].

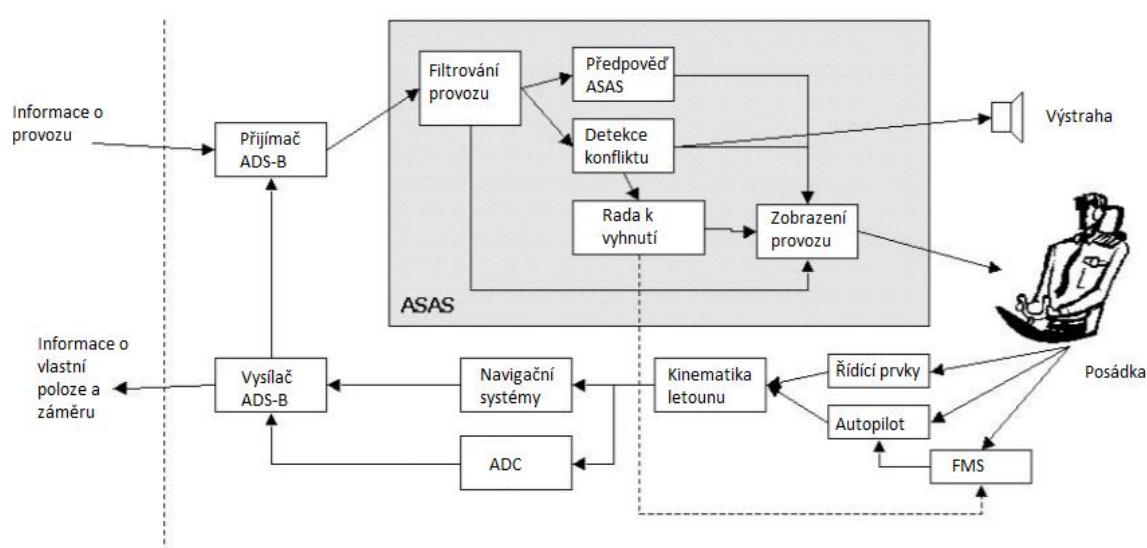
Základním předpokladem FFAS je schopnost letadel zajistit a udržet si rozstupy od okolního provozu. To by mělo být v teoretické rovině možné s vývojem v oblasti CNS systémů. Vysoká technologická úroveň systémů by tak umožnila přechod z centralizované na decentralizovanou strukturu řízení letového provozu, ve které je, na rozdíl od centralizovaného systému, zodpovědnost za provedení letu a za dodržení bezpečných rozstupů rozdělena na všechny prvky systému, tedy jednotlivé posádky letadel. Požadovaná úroveň technologické infrastruktury zastřešuje následujících oblastí:

- Datová komunikace
- Navigační výkonnost
- Přehledové palubní systémy
- FMS pro výměnu informací z FPL
- Systém pro detekci a řešení konfliktů (ASAS)

Klíčovým nástrojem pro realizaci *free flight* (FF) jsou především přehledové aplikace pro zobrazení okolního provozu, detekci konfliktů a případně zajištění rozstupů. Systémy CDTI, ASAS, ADS-B (podrobněji rozebrány v kapitole 4) a vysoká přesnost satelitní navigace budou základními požadavky, umožňující letadlům bezpečný a volný pohyb v prostoru. Aby byl systém aplikovatelný, je nezbytné stanovení minimálních požadavků na palubní vybavení pro všechna letadla pohybující se v FF prostoru, dále operační schopnosti systémů a zajištění jejich vzájemné interoperability tak, aby byla všem letadlům zobrazena stejná provozní informace, a především aby byla zajištěna vzájemná kooperace systémů při řešení konfliktů.

Ačkoliv fungování systému FF je podmíněno technologickou úrovní palubních systémů, provedení letu, zajištění rozstupů a volba manévru pro vyhnutí je v zodpovědnosti posádky. Obr.5 Popisuje proces fungování systému, jehož základem je získání provozní informace

v reálném čase, zpracování získaných tracků a vyhodnocení potenciálních interakcí. Informaci o poloze získanou ze satelitní navigace vysílá každé letadlo pomocí datového spoje (ADS-B) do svého okolí. Systém ASAS provede zpracování informací, na jejichž základě vyhodnotí hrozící konflikty. Okolní a konfliktní provoz zobrazí na displeji v kokpitu (CDTI - Cockpit Display of Traffic Information). V CDTI by měli být pilotům k dispozici veškeré informace o letu, které jsou dnes zobrazovány řídícím. Na základě zobrazených informací provede posádka úhybný manévr, který je opět zaznamenán navigačními systémy i v ADC¹⁰. Konečný záměr (predikce) je opět vyslaný okolním letadlům.



Obr. 5 Princip fungování systému ASAS v konceptu Free Flight [28]

Struktura Free Flight prostoru

Finální struktura vzdušného prostoru bude mít zásadní vliv na tvorbu a aplikaci operačních postupů, a zároveň konečné uspořádání prostoru bude definovat požadavky na palubní vybavení.

1. Oddělení FFAS

V nižších letových hladinách, kde je předpoklad většího vertikálního pohybu v návaznosti na přílety a odlety by zavedení FFAS vyžadovalo další palubní aplikace zajišťující sekvencování provozu do jejich konečných destinací, napojování na příletové tratě, a naopak napojování odletů do volného prostoru. Naopak striktním oddělením FFAS a řízeného prostoru (MAS)

¹⁰ ADC Air Data Computer

Ize docílit separování provozu s různými charakteristikami, např. oddělením interkontinentálních letů od lokálních evropských letů, čímž lze předpokládat snížení komplexity provozu. Využití FFAS prostoru lze v tomto případě očekávat zejména pro traťové lety, kde se předpokládá větší distribuce provozu v prostoru, než je tomu v nízkých hladinách, kde se provoz kumuluje v blízkosti letišť.

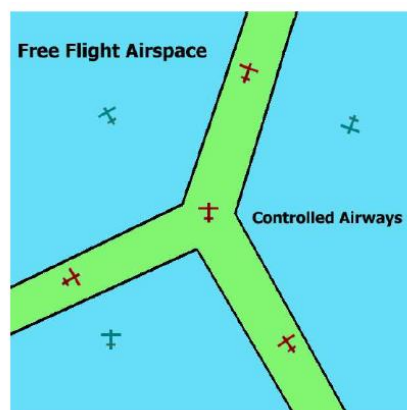
Návrh rozložení FFAS a MAS je zobrazen na následujícím obrázku.



Obr. 6 Oddělení *free flight* prostoru od řízeného prostoru [28]

2. Koncept zachování letových cest pro řízený provoz

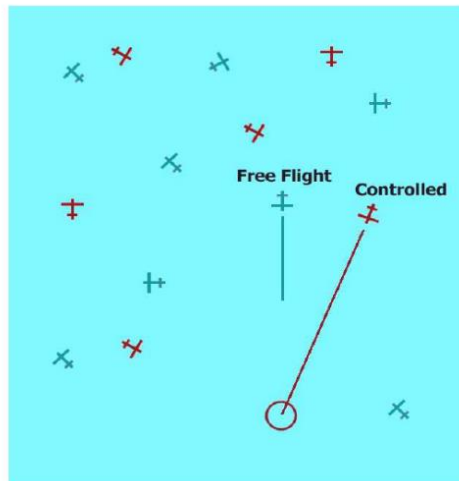
Pro letadla, která nejsou vybavena pro FF existují koridory okolo letových cest, ve kterých je poskytována služba řízení letového provozu. Letadla vybavená ASAS mohou létat podle pravidel free flight v celém prostoru, a využívat tak přímé tratě. Přelétnutí řízených koridorů je povoleno za předpokladu dodržení rozstupů od řízeného provozu.



Obr. 7 Řízené letové koridory v prostoru free flight [28]

3. Smíšený provoz

Letadla nevybavená systémem ASAS zůstávají v zodpovědnosti řídicího, zatímco ostatním letadlům je umožněn volný pohyb. Rozestupy řízeného provozu od FF provozu zajišťuje řídicí, který pro detekci konfliktu využívá stejný detekční systém jako FF letadla na palubě, pouze s větší časovou predikcí (viz obr.). FF provoz tak zajišťuje rozstupy pouze od ostatního FF provozu.

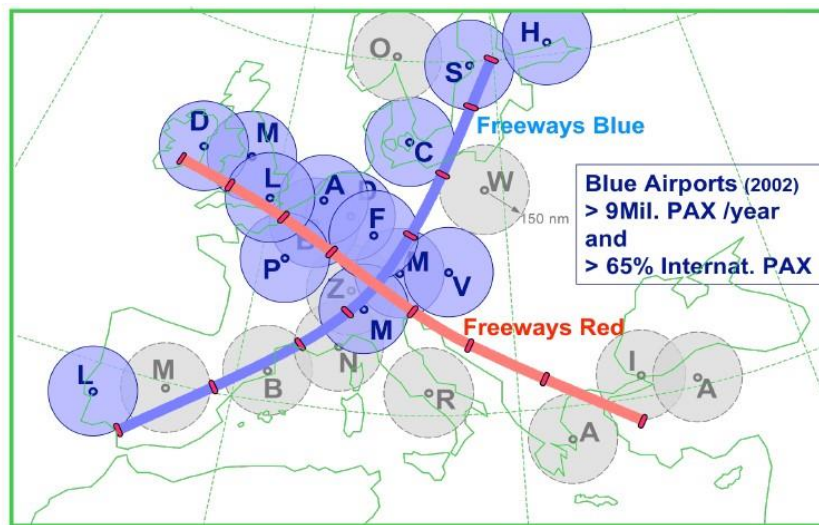


Obr. 8 Smíšený provoz [28]

V případě realizace FF prostoru je vysoce pravděpodobné, že konečné podobě by muselo přecházet několik implementačních fází, které by zajistily postupný přechod z řízeného do volného prostoru. Delegování zodpovědnosti za rozstupy tak lze spíše předpokládat v postupných krocích, ve kterých role řídicího postupně ustupuje do pozadí – od přidělení zodpovědnosti za udržování rozstupů od konkrétního letadla (např. místo rychlostních omezení pro letadla na stejné trati), až po plné delegování pravomocí, kdy řídicí bude figurovat pouze jako podpůrný prvek. Konečná role dnešního řídicího může mít v FFAS systému několik rozličných podob.

Eurocontrol v roce 2005 představil studii zavedení *Freeway systému* [29]. Tzv. *Freeways* představují izolovanou část vzdušného prostoru, v němž platí specifická pravidla pro létání. Jeho hlavním smyslem je sdružení provozu s podobnými charakteristikami, např. směrem letu (typicky interkontinentální lety), nebo výkonnostními charakteristikami. Koncept navržený pro Evropu spočívá v zavedení dvou hlavních „tahů“ (viz obr. 9): Červený tok navržený pro obousměrný provoz severozápad-jihovýchod a modrý tok pro směr

severovýchod-jihozápad a opačný. Obrázek dále zobrazuje rozložení největších evropských letišť, z nichž by se velká část provozu byla schopná napojit na *freeway prostor*.



Obr. 9 Systém Freeway [29]

Freeways představují horizontální pásmo pokrývající šířku několika paralelních „tratí“, v nichž existují specifická pravidla pro let ve směru letového toku. Rozstupy uvnitř prostoru jsou založeny na časovém intervalu (např. 3 min) a zajišťovány pomocí ASAS. Celý prostor je spravovaný jediným ne-národním střediskem (FC - Freeway Control), které letadlům poskytuje službu monitoringu.

Nedostatky v současném systému

Otázka realizace free flight nad Evropou dnes stále zůstává spíše futuristickou vizí, ačkoliv již bylo provedeno několik výzkumů a simulací ve free flight prostředí. Hlavní překážkou je v současnosti nedostatečná úroveň technologických systémů, ať už z důvodu přesnosti, spolehlivosti či dostupnosti potřebných služeb. Spousta nejasných a kontroverzních otázek se dále objevuje v oblasti bezpečnosti, ekonomiky i politické proveditelnosti, proto se možnosti návrhu operačních postupů stanovují velmi obtížně. J. M. Hoekstra [28] představil diagram hypotéz (viz. příloha), který logicky shrnuje přehled základních nedostatků, které se pojí s FFAS.

V **oblasti bezpečnosti** je zásadní otázka vlivu lidského faktoru, jelikož zodpovědnost za dodržování rozstupů zvýší pracovní vytížení pilotů. Především v oblastech hustého provozu může jít až o několikanásobně větší zátěž. Druhou kontroverzní otázkou je, zda prostředí

řízení letového provozu může fungovat bez centrálního řídicího střediska. Množství konfliktů a způsoby jejich řešení budou v dynamicky se měnícím prostředí klást důraz na zpracování všech informací v reálném čase a otázkou zůstává, zda několika nezávislými individuálními řešeními lze vyřešit celkovou komplexní situaci, a dále jestli výsledkem několika na sebe navazujících rozhodnutí nemůže dojít k patové situaci.

Bezpečnost v letovém provozu je dále z podstatné části ovlivněna úrovní a spolehlivostí technického zabezpečení. Dnešní úroveň technologií stále obsahuje spoustu mezer a nedostatků, které brání provedení *free flight* v praktické rovině.

1. **Certifikace systému ASAS** pro celosvětové použití může být komplikovaná z důvodu vysokých nároků na požadavky systému. Aby bylo zaručeno, že jakákoliv situace bude bezpečně vyřešená na globální úrovni, musí být systém vybaven algoritmem řešícím několik desítek kroků dopředu, přičemž musí být zajištěno, že veškeré možné interakce s okolním provozem budou systémem vyhodnoceny a zpracovány v přijatelném čase. Zároveň čas na zpracování získaných informací musí být co nejmenší, aby byla posádce poskytnuta dostatečně dlouhá doba na rozhodnutí a provedení manévru.
2. **Rychlost datového přenosu** pro vysílání předpokládaného množství informací je v současnosti nedostatečná. V případě hustého provozu bude potřeba vyřešit problém s přehlcením datové komunikace, například určením prioritních cílů. Nabízí se i obdobné řešení, které v dnes využívá systém TCAS, s přiřazením četnosti hlášení pro různé stupně hrozby.
3. **Zobrazení provozní informace (CDTI)** takovým způsobem, aby nedošlo k zahlcení obrazovky nepřehlednými informacemi, ale zároveň aby měl pilot přehled o pohybu všech letadel v okolí. Žádoucí je jednak zobrazení přiměřeného množství okolního provozu, ale i využití symbolů pro rozlišení prioritních cílů.
4. Požadavky na **nový FMS (Flight Management System)** v případě potřeby predikce a sdílení trasy letového plánu, a jejich využití pro práci ASAS.
5. **ADS-B** se předpokládá, že bude primárním zdrojem přehledových dat v kokpitu, které v případě využití satelitních stanic zabezpečí celosvětové pokrytí s obnovou dat blízko reálnému času. Největší problém však spočívá v jeho závislosti na palubní navigaci. V případě, že systém přestane splňovat podmínky požadované navigační

výkonnosti, ADS-B vysílá chybnou informaci o poloze. Nezbytné je tak nejen vysílání informace o integritě, ale i zřízení záložních systémů pro ADS-B v případě poruchy.

6. **Navigační výkonnost** je klíčovým předpokladem pro spolehlivost dalších systémů, zejména schopnost zabezpečení rozstupů.

Z **ekonomických otázek** je hlavní pochybností, zda zvolené optimální řešení individuálních jednotek bude ve skutečnosti ekonomičtější z globálního pohledu, a zda v důsledku manévrů na základě RA ve výsledku nedojde ke ztrátě získaných úspor z optimálních trajektorií.

Politické problémy představují především přijetí nových rolí v systému – zda piloti přijmou navíc zodpovědnost za rozstupy, a zda řídicí letového provozu přijmou kompletně novou úlohu v systému.

CD&R (Conflict detection and resolution)

Funkce **conflict detection** (Detekce konfliktu) umožňuje predikovat hrozící kolizi či snížení rozstupů mezi letadly na základě aktuální pozice a parametrů letu obou letadel, případně dostupného záměru na základě zvolené výšky či informací z FMS (plánovaná trať). V případě zjištění konfliktu musí být posádce vysláno upozornění zobrazením na displeji v kokpitu, případně i zvukovou výstrahou.

Pro posádky je potřeba odlišit funkce pro detekci konfliktu systému ASAS a varovné výstrahy systému ACAS, který má sloužit pouze jako poslední varovný prvek v celé bezpečnostní struktuře, tzn. jeho spuštění by měla předcházet upozornění na okolní provoz a návrhové řešení v dostatečném časovém předstihu. U systému ASAS je žádoucí adekvátní predikce hrozících konfliktů v řádu několika minut (v závislosti na rychlosti, výšce letu a dalších parametrech). Predikce konfliktu by měla být vydána v takovém čase, aby bylo vyvarováno nebezpečným a prudkým manévřům, které by mohly ohrozit bezpečnost letu, a zároveň s dostatečným předstihem, aby bylo možné konflikt vyřešit co možná nejvýhodněji pro obě strany.

Možnosti detekce konfliktu mohou být založeny na:

- Stavovém vektoru uvažujícím polohu (včetně výšky) a vektor rychlosti
- Rozšířené stavové informaci (pozice, rychlost a informace z řídicího panelu)

- *Intent informací*¹¹ o plánované trajektorii letu (z FPL)

[28, 30]

Vzhledem k dnešní snaze o optimalizaci letů a napřímění letových trajektorií do budoucna lze předpokládat, že stavový vektor bude ve většině případů odpovídat plánované trajektorii letu, a tedy bude minimálně v počátcích zavádění systému dostatečný pro predikci konfliktů. [28] Predikce konfliktů se v případě čelního konfliktu a využití stavového vektoru predikce odhaduje na 5-7 minut, při uvažované traťové rychlosti letadel 500 kts (GS). Při využití *intent informace* by mohla predikce dosáhnout až 10 min. [30] Limitující faktor zde bude především dosah signálu ADS-B, který je při spojení mezi letadly závislý na přímé viditelnosti, dále na nadmořské výšce, délce antény a okolním terénu.

Pokud je ASAS zároveň vybavený funkcí **conflict resolution** (vyřešení konfliktu), je posádce na displeji zobrazen doporučený úhybný manévr, případně možnosti bezpečných manévru. Existují návrhy implementace řešení formou zobrazení navrhované změny trati ve FMS, kterou pilot musí manuálně odsouhlasit.

Pro řešení konfliktů je nezbytné stanovit přesná pravidla a algoritmus, na jehož základě bude zajištěno, že obě strany budou konflikt řešit v souladu, a zároveň nedojde k vytvoření dalších konfliktů. Nabízí se v zásadě dvě možnosti řešení: Pravidlo priority a pravidlo kooperace. Pravidlo priority na základě definovaných podmínek určí „nadřazenější“ letadlo, které bude „mít přednost“ v letu po trati, zatímco druhé letadlo bude provádět výhybný manévr. Naproti tomu pravidlo kooperace uvažuje manévr obou letadel. [28]

Ochranná a výstražná zóna

Pro schopnosti CD&R je primární úkol detekování konfliktu, k čemuž slouží pomyslná **ochranná zóna** (Protected zone) okolo každého letadla, do níž nesmí žádné jiné letadlo vstoupit (viz kap. 2.3.2).

Systému ASAS pracuje ještě s další důležitou zónou, tzv. **zónou výstrahy** (Alert zone), ve které dochází k identifikování konfliktů. Velikost zóny bude závislá na výkonnosti (a tedy i dosahu)

¹¹ Intent informace – informace o zámyslu (získaná z FPL)

detekčního systému, v každém případě by však měla přesahovat rozměry ochranné zóny.
Uvnitř výstražné zóny je letadlo upozorněno na konfliktní provoz.

4. Technologické předpoklady budoucích ATM systémů

4.1 Přehledové systémy

Dnešní přehledová infrastruktura je primárně založená na radarovém pokrytí sekundárních radarů (SSR), monopulsních sekundárních radarů (MSSR), případně primárních přehledových radarů (PSR). Všechny tyto systémy vyžadují rozmístění pozemních radarů k získání radarové informace, sekundární radary navíc vyžadují spolupracující odpovídač na palubě letadla. Přesnost radarové informace je proto ovlivněna radarovým pokrytím, tedy počtem a rozmístěním radarů. Vývoj satelitních přehledových systémů proto přináší hned několik řešení nedostatků spojených s pozemními systémy. Pro pokrytí nároků na rostoucí kapacitu provozu je přehledová infrastruktura jedním ze základních pilířů, jejíž úroveň a dostupnost bude mít vliv na konečnou kapacitu. Satelitní systémy tak představují budoucnost ATM systémů.

V oblasti přehledových systémů se v nadcházejících letech očekává následující směr vývoje [31]:

1. Využití kombinace zdrojů přehledových informací, a důraz na vzájemnou interoperabilitu
2. Větší důraz kladený na palubní přehledové systémy (airborne surveillance) s cílem sjednotit jednotlivé systémy k celosvětovému využití
3. Širší využití DAPs (Downlink aircraft parameters, viz kap. 5.1.1) a předávání většího množství informací

4.1.1 Mód S

V souvislosti s rostoucím provozem a zvýšenými požadavky na množství a přesnost přehledových informací vznikla potřeba vylepšit službu, kterou poskytoval odpovídač módu A/C. Mód S vznikl jako reakce na houstnoucí provoz, pro který již tradiční módy A/C nebyly dostatečné. Mód S poskytuje řešení nedostatečného počtu SSR kódů (Mód A nabízí pouze 4096 možností), umožňuje sledování většího množství provozu a trackování výšky letu po 25

ft intervalech, díky čemuž výrazně zlepšuje úroveň rady k vyhnutí systému ACAS (viz. kap. 5.2).

Mód S umožňuje přidělit každému letadlu individuální 24-bitovou ICAO adresu. Celkem tak existuje 16 777 216 možných kódů, kdy každému státu bylo přiděleno určité rozmezí kódů, které může přidělovat. [32] ICAO adresa je spolu s informací o výšce a dalšími parametry letu vysílána na frekvenci 1090 MHz.

Princip činnosti

Každé pozemní stanici je přiřazen vlastní identifikační kód IC (Interrogation Code), který je součástí každého vysílání stanice i odpovídače.

Problémy s vytížením frekvence 1090 MHz řeší mód S selektivním dotazováním. V módu S jsou na frekvenci 1030 MHz vysílány dotazy dvojího typu: **všeobecné (All call)** a **adresné (Roll call)**. Během all-call periody vysílá stanice dotazy pro sledování módů A/C a pro získání nových ICAO adres módu S. Odpovídač módu S vyše all-call odpověď obsahující vlastní ICAO adresu a IC kód dotazující stanice. Pozemní stanice dekóduje identifikaci letadla a jeho pozici, a následně v roll-call periodě instruuje letadlo ignorovat další all-call vysílání po dobu 18 sekund. Uzamčení odpovídače vůči následným all-call vysíláním dané IC se označuje jako **lockout**. [32]

Odpovídač dále reaguje pouze na selektivní roll-call dotazy, které jsou vysílány na základě unikátní 24-bitové ICAO adresy letada. Dotaz je vysílán směrem, ve kterém stanice očekává, že se letadlo v daný moment nachází. Všechna ostatní letadla v dosahu budou selektivní dotaz ignorovat.

Mód S EHS

Implementace módu S je realizována ve dvou úrovních: **mód S ELS (Elementary Surveillance)** poskytuje základní přehledové informace, zatímco **mód EHS (Enhanced Surveillance)** nabízí pokročilé sledování díky většímu množství vysílaných dat.

Povinné vybavení odpovídačem s módem S ELS dnes platí pro všechny IFR lety v celém FIR Praha, pro lety VFR ve FIR Praha nad FL 95 a pro všechny lety v CTR a TMA Praha. Letadla,

jejichž MTOW je větší nebo rovna 5700 kg nebo jejichž pravá cestovní rychlost převyšuje 250 kts, musí být vybavená módem S EHS. [33]

Oproti základní verzi ELS, verze EHS navíc vysílá tzv. **downlink aircraft parameters (DAPs)**, které mohou být ve dvou verzích, viz obr. 10.

BDS Register	Basic DAP Set (if Track Angle Rate is available)	Alternative DAP Set (if Track Angle Rate is not available)
BDS 4,0	Selected Altitude	Selected Altitude
BDS 5,0	Roll Angle	Roll Angle
	Track Angle Rate	
	True Track Angle	True Track Angle
	Ground Speed	Ground Speed
		True Airspeed (provided if Track Angle Rate is not available)
BDS 6,0	Magnetic Heading	Magnetic Heading
	Indicated Airspeed (IAS) / Mach no. (Note: IAS and Mach no. are considered as 1 DAP (even if technically they are 2 separate ARINC labels). If the aircraft can provide both, it must do so).	Indicated Airspeed (IAS) / Mach no. (Note: IAS and Mach no. are considered as 1 DAP (even if technically they are 2 separate ARINC labels). If the aircraft can provide both, it must do so).
	Vertical Rate (Barometric rate of climb/descend or baro-inertial)	Vertical Rate (Barometric rate of climb/descend or baro-inertial)

Obr. 10 DAPs sety [33]

V prvotní fázi DAPs znamenají podstatné zlepšení především pro řízení letového provozu, a to:

- zvýšení celkového situačního přehledu
- využití rozšířených informací a hlášení výšky v 25 ft krocích zlepší sledování cílů v reálném čase
- vyšší přehled v případě většího shluku letadel
- snížení rádiové komunikace
- snížení počtu nedodržených hladin (*Level busts*)
- větší počet sledovaných cílů

[34]

Největší přínos z hlediska zvýšení bezpečnosti nabízí funkce *Selected altitude* (Nastavená výška), která řídicímu zobrazí hladinu, manuálně nastavenou pilotem do FMS. Funkce snižuje

pravděpodobnost špatného readbacku, a v případě, že řídicí zadává do systému vydané povolení, umožňuje pozemnímu systému vydat varovné hlášení.

DAPs zároveň nabízí potenciál ke zvýšení úrovně protisrážkových systémů využitím hlášení výšky po 25 ft krocích. Sdílení nastavené výšky výrazně sníží počet nechtěných výstražných hlášení. Využití rozšířených informací bude moci být využito pro vylepšení algoritmu pro vyhnutí, a například vydat efektivnější radu k vyhnutí.

Další rozšířené informace jako úhel náklonu, rychlost změny traťového úhlu nebo zeměpisný traťový úhel v případě reálného přenosu zpřesní trackování cílů a jejich predikci trajektorie.

Využití informace o indikované vzdušné rychlosti (IAS), případně machově čísle, a skutečném magnetickém kurzu sníží množství komunikace na frekvenci. Řídicímu odpadne potřeba se na dané informace dotazovat, ale v případě potřeby si je bude moct sám zobrazit.

Všechny výše zmíněné benefity přispějí ke snížení zátěže řídicího, přesnějšimu sledování cílů v reálném čase a tím i k celkovému zvýšení bezpečnosti v letovém provozu. Využití se dá očekávat i pro palubní systémy (ACAS, ASAS), čímž dojde ke zvýšení situačního povědomí posádek.

4.1.2 ADS (Automatic dependent surveillance)

Systém ADS (Automatic Dependent Surveillance - automatický závislý přehledový systém) je založený na automatickém vysílání dat získaných z palubních navigačních systémů. Funkčnost systému závisí pouze na přijímání polohových dat ze satelitní navigace (např. GPS, GLONASS) a na jejich následným vysílání do okolí. Hlavní výhoda oproti pozemním radarovým systémům spočívá především v tom, že v případě spojení letadlo-letadlo není potřebná instalace pozemní stanice. Jelikož ADS-B systém není závislý na přijímání signálu z pozemního vysílače, nabízí v současnosti největší přínos při oceánských letech, či přeletech přes území bez radarového pokrytí.

K automatickému vysílání polohové informace dochází každou vteřinu, což za předpokladu, že údaje o poloze jsou správné, znamená výrazně přesnější určení aktuálních parametrů letu,

než v případě sekundárních radarů (obnova informace dosahuje nejméně 4 sekund) [36]. Přesnost zobrazované polohové informace je závislá pouze na přesnosti palubní navigace.

Přenos zpráv je realizovaný přes datový spoj, dnes v Evropě nejčastěji využívaný 1090 ES (Extended Squitter) módu S, VDL Mode 4, případně v USA využívaný datalink UAT (Universal Acces Transceiver) pracující v pásmu 978 MHz. Přijímačem signálu může být jak pozemní stanice, tak i jiné letadlo v dosahu. Teoretický maximální dosah UAT i 1090 ES pro spojení se zemí je pro vyšší cíle 180 NM, pro spojení letadlo-letadlo 170–200 NM. Reálný dosah 1090 ES je ve skutečnosti o něco nižší než UAT z důvodu vytiženější frekvence 1090 MHz. [35]

Systém ADS existuje dvojího typu:

ADS-C (Contract) je založený na předem definovaném „kontraktu“ (dohodě) mezi pozemní stanicí a letadlem. Kontrakt definuje konkrétní požadavky na údaje, které má letadlo odesílat, i časové intervaly hlášení. Kontrakty mohou být založeny i na spuštění specifikované události, např. nouzový stav letadla.

Dnes je ADS-C využíván výhradně k zajišťování procedurálních rozstupů v oblastech bez radarového pokrytí. Postupy pro poskytování letových provozních služeb založených na ADS-C jsou popsány v L4444, Hlava 13.

ADS-B (Broadcast) automaticky vysílá letové údaje do celého svého okolí, takže jakýkoliv přijímač v dosahu, který je vybavený funkcí ADS-IN může data přijmout. Některá letadla mohou být vybavená pouze funkcí ADS-OUT, což jim umožňuje pouze data vysílat.

Schopnost funkce ADS-B In vyžaduje na palubě letadla instalovaný přijímač datových zpráv, procesor zpracování dat a systém pro zobrazení provozních informací, tzv. CDTI – Cockpit Display of Traffic Information.

ADS-B v současnosti

Proces implementace technologií ADS-B v Evropě zastřešuje program EUROCONTROL Cascade, který zahrnuje jak pozemní přehledové aplikace (ADS-B Out, WAM¹²), tak i vzdušné aplikace (airborne surveillance applications) (ADS-B In, ATSAW¹³).

¹² WAM Wide Area Multilateration – Multilaterační systémy

¹³ ATSAW Air Traffic Situational Awareness – situační přehled o letovém provozu (viz kap 4.1.3)

Požadavky na vybavení letadel ADS-B v Evropě upravuje nařízení Evropské komise 1207/2011 (*Requirements for the performance and the interoperability of surveillance for the SES*) a jeho rozšíření 1028/2014, které požaduje vybavení ADS-B OUT po všech letadlech, která získala osvědčení o letové způsobilosti po 8. lednu 2015, a jejichž maximální vzletová hmotnost (MTOW) je větší než 5700 kg, nebo jejichž maximální cestovní rychlostí TAS přesahuje 250 kts. Pro letadla, která získala osvědčení před tímto datem, je vybavení ADS-B OUT požadováno do 7. června 2020. [37]

Současný stav technologie ADS-B umožňuje provozování aplikací [38]

- ADS-B NRA (ADS-B in Non Radar Area) v prostoru bez radarového pokrytí
- ADS-B RAD (ADS-B in Radar Areas) v prostoru s radarovým krytím
- ADS-B APT (ADS-B Airport Surface Surveillance application) pro letištní provozní plochy

TIS-B Traffic Information Service - Broadcast

ADS-B zároveň umožňuje poskytovat službu TIS-B, která vysílá informace o provozu na frekvencích 978 MHz nebo 1090 ES, a je volně k dispozici pro všechna letadla vybavená funkcí ADS-B In, která se nachází pod nebo v hladině FL 240 [39]. K předávání zpráv TIS je využito pozemní stanice, která zpracovává informace jak z ADS-B a multilateračních systémů, tak i z přehledových radarů. Hlavní přínos tak spočívá v předávání informací o cílech, které nejsou vybavené ADS-B. Posádce jsou informace zobrazeny na displeji v kokpitu v podstatě ve stejném formátu, v jakém je vidí řidič na obrazovce (polohová informace, výška, směr a rychlost letu).

Pro obdržení zprávy TIS se letadlo musí nacházet v dosahu pozemní stanice ADS-B, která vysílá TIS-B zprávy, a současně okolní cíle musí být v dosahu pozemních přehledových systémů. Posádkám jsou předávány informace o cílech v dosahu 15 NM horizontálně a 3500 ft vertikálně. [39]

Potenciál technologie ADS-B

Největší výhody ADS-B nabízí v možnosti přenosu signálu mezi letadly samotnými, tzn. bez potřeby vysílající pozemní stanice. Polohová data jsou mohou být získávána a zpracovávána přímo na palubě letadla, což umožňuje reálné určení polohy v prostoru. Obdržení přehledové

informace je u letadel podmíněno vybavením přijímačem. Podpora funkce ADS-B In dnes není plně integrovaná, ale v případě implementace posádkám poskytuje výhody v podobě většího situačního přehledu, zobrazením aktuální provozní situace na displeji v kokpitu - aplikace ATSAW (Air Traffic Situational Awareness).

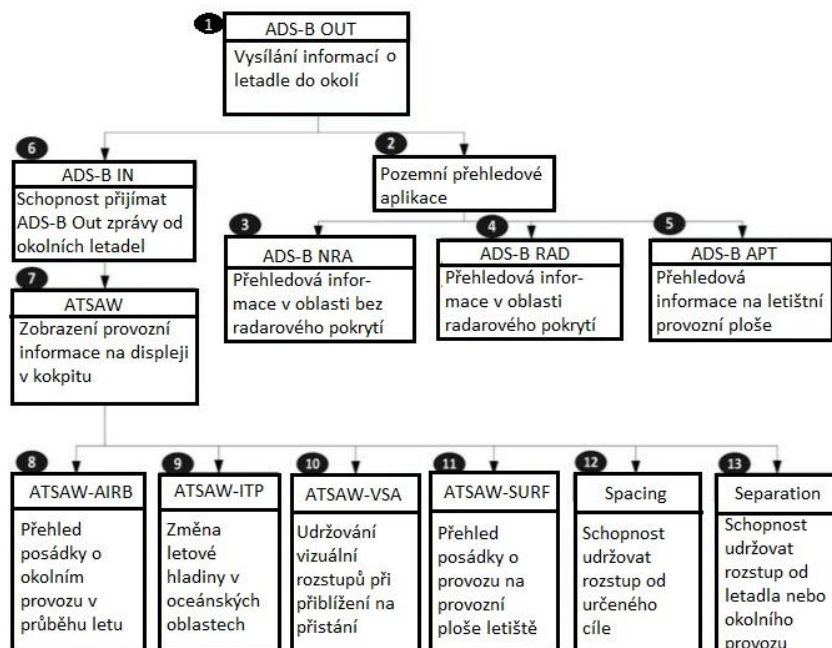
- ❖ ATSAW AIRB (ATSAW during Flight Operations) využitelnou v průběhu letu
- ❖ ATSAW ITP (In-Trail procedure) využitelnou v oceánských oblastech
- ❖ ATSAW VSA (Visual Separation in Approach)
- ❖ ATSAW SURF (Surface) pro využití na provozní ploše

[38]

Další potenciál ADS-B do budoucna nabízí pro využití v systému ASAS (Airborne Separation Assurance System), který umožní zodpovědnost za rozstupy delegovat částečně nebo úplně na posádku letadel.

Aplikace ASPA-FIM (Flight Deck Interval Management) je první z nich, jejíž standardizace byla úspěšně dokončena, a je v současnosti dostupná k použití. Aplikace umožňuje vybaveným letadlům udržovat časové nebo vzdálenostní rozstupy od určeného cíle, zatímco řídicí je stále zodpovědný za jejich dodržení. [40]

Vývoj systémů ADS-B a jeho aplikací je zobrazen na obr. 11.



Obr. 11 Vývoj funkcí ADS-B [38, vlastní úprava]

Zatímco dosah klasického ADS-B systému je limitován přímým šířením vln, v roce 2010 byl spuštěn projekt satelitních ADS-B, který díky instalaci satelitních stanic umožňuje šíření signálu i za horizont nebo terénní překážky [41, 42]. Satelitní stanice tak v podstatě slouží jako prostředník mezi letadlem a pozemní stanicí v místech bez přímého dosahu, čímž zvětšuje využitelnost systému v horském terénu či nad oceánem. Celý proces šíření informací přitom probíhá v reálném čase s obnovou informace každou vteřinu, nedochází tedy k výraznému zpoždění satelitním zpracováním. Přesnost polohové informace navíc není ovlivněna vzdáleností, terémem ani počtem letadel v okolí.

Projekt, vedený dvěma nezávislými společnostmi **Aireon** a **Globalstar** (ve spolupráci s ADS-B Technologies)¹⁴, byl spuštěn a testován od roku 2010. Aireon oficiálně dosáhl plné operační schopnosti v oblasti severního Atlantiku teprve 2. dubna 2019. Až do nedávna tak byla přehledová informace omezená na dosah pozemních stanic ADS-B a radarového pokrytí, které pokrývají asi 30 % vzdušného prostoru. Plné operační nasazení satelitní služby ADS-B představuje revoluční mezník v letectví, jelikož satelitní stanice zabezpečují 100 % pokrytí povrchu v reálném čase. Největší benefity jsou očekávány v oblasti Atlantiku, kde bude moci dojít ke snížení rozstupů mezi letadly usazenými na stejné trati - ze současných 40 NM až na 14 NM, čímž se několikanásobně zvýší propustnost prostoru. [41]

4.1.3 ASAS

Systém ASAS (Airborne Separation Assurance System) zajišťuje posádce informaci o okolním provozu a v závislosti na úrovni systému poskytuje možnost udržování rozstupů či vyhnutí se provozu. Systém umožňuje několik různých aplikací (= soubor operačních postupů).

Podle míry delegovaných pravomocí Eurocontrol definuje 4 kategorie aplikací ASAS [43]:

- **Airborne Traffic Situational Awareness applications** - jejím cílem je zvýšení situačního povědomí posádky o okolním provozu jak ve vzduchu, tak na zemi.
- **Airborne spacing applications** – umožňují posádce udržovat rozestupy od přiděleného provozu. Ačkoliv je posádce přidělen další úkol, zodpovědnost za rozestupy zůstává na řídicím letového provozu.

¹⁴ Projekt Globalstar a ADS-B Technologies je nazýván **ALAS – ADS-B Link Augmentation System**

- **Airborne separation applications** – oproti předchozí aplikaci, zde řídící může delegovat zodpovědnost za dodržování rozstupů od konkrétního cíle na posádku letadla. Přidělení zodpovědnosti za rozstupy je součástí vydaného povolení pro konkrétní letadlo, a mělo by být časově či prostorově omezeno. Ostatní provoz nadále zůstává v zodpovědnosti řídícího.
- **Airborne self-separation applications** – nejpokročilejší verze aplikace umožňuje posádce udržovat rozstupy od veškerého okolního provozu.

Pro každou kategorii bude potřeba vytvořit operační postupy a procedury, které se budou lišit v závislosti na míře delegovaných pravomocí. Některé aplikace budou vyžadovat vytvoření náhradních postupů pro případ, kdy některá funkce systému ASAS nebude dostupná, nebo nebude-li posádka schopná vykonávat přidělenou delegaci. Pro aplikace se funkcí airborne separation a airborne self-separation bude nezbytné dosažení certifikace o požadované úrovni bezpečnosti.

S rostoucí mírou delegovaných pravomocí porostou zároveň i požadavky kladené na palubní systémy z hlediska přesnosti, integrity, dostupnosti a spojitosti. Systém ASAS jako primární zdroj přehledové informace pracuje s ADS-B, z jehož vysílání zpracovává informace o poloze, rychlosti a výšce. Navíc dále může obsahovat typ a identifikaci letadla, informaci z FPL, případně informace o navigačních schopnostech, kategorii integrity či stavu palubních systémů. Jelikož pokročilejší aplikace ASAS mohou vyžadovat větší nároky na požadovanou navigační výkonnost, informace o aktuální přesnosti a integritě bude důležitá pro vyhodnocení potřebných rozstupů.

Pro informaci o provozu, který není vybavený ADS-B, se nabízí využití zpráv TIS-B.

Pro výměnu dat mezi palubou a zemí, ale i mezi letadly ve vzduchu, bude potřebný data-link odpovídajících parametrů. Pokročilejší aplikace ASAS mohou dále vyžadovat větší nároky na požadovanou navigační výkonnost.

Očekávaný přínos aplikací ASAS

- zvýšení celkové bezpečnosti díky
 - ✓ většímu situačnímu přehledu ve všech fázích letu
 - ✓ většímu situačnímu přehledu ve zhoršených meteorologických podmínkách

- ✓ větší úrovni automatizace systémů díky využití informací z několika různých zdrojů (Podpora aplikací ASAS není závislá na kooperaci s pozemními systémy ani na komunikaci s řídicím)
- Optimalizace trajektorií a větší flexibilita při využití vzdušného prostoru povede k časovým i ekonomickým úsporám a tím i ke snížení dopadu na životní prostředí
- Navýšení propustnosti vzdušného prostoru, které bude umožněno se snížením zátěže řídicího
 - ✓ Snížením rádiové komunikace
 - ✓ Větší automatizací funkcí v kokpitu (monitorovací a výstražné systémy)
 - ✓ Delegací některých pravomocí na posádku

4.2 Airborne safety nets

Zásadní postavení v oblasti bezpečnostní podpory pro posádku má palubní protisrážkový systém ACAS (Airborne Collision Avoidance System), který slouží jako poslední varovný prvek pro vyhnutí se střetu letadel. Systém poskytuje posádce upozornění na okolní provoz (Traffic advisory (TA)), který představuje potenciální ohrožení letadla, a kromě verze ACAS I i radu k vyhnutí se provozu (Resolution advisory (RA)).

Systémy ACAS

Předpis ICAO Annex 10/ IV definuje tři verze ACAS:

ACAS I poskytuje pouze informaci o provozu (TA) bez konečné rady k vyhnutí. ACAS I neodpovídá mezinárodním standardům ICAO, lze se s ním však setkat v některých částech USA.

ACAS II kromě informace o provozu poskytuje radu k vyhnutí (RA) ve vertikální rovině.

Není kompatibilní se zprávami vysílanými z ADS-B, takže nedokáže přijmout informaci o poloze z GPS. Informace o poloze letadel, které zobrazuje na displeji v kokpitu, vyhodnocuje na základě doby odpovědi a směru signálu. Přesnost antény k určení směru narušitele však není dostačující, proto polohová informace nemůže být poskytnutá k zajištění horizontálních rozstupů ani pro možnost horizontálního vyhnutí.

ACAS III poskytuje informaci o provozu a radu k vyhnutí ve vertikální a horizontální rovině. Projekt ACAS III byl pozastaven poté, co se zjistilo, že palubní přehledové systémy nejsou schopné sledovat provoz s dostatečnou horizontální přesností. Po implementaci informace z módu S ENH, se projekt na chvíli obnovil, někdy se lze setkat také s označením ACAS IV.

V současnosti jediná verze systému, která splňuje ICAO požadavky pro implementaci je TCAS II verze 7.1. V Evropě je povinné vybavení TCAS II verzí 7.1 od 1. prosince 2015 pro všechna letadla s MTOW převyšující 5700 kg nebo s možností přepravy více než 19 cestujících. [45]

Verze TCAS II 7.1 oproti předchozí verzi 7.0 doznala dvou zásadních změn:

1. **Level off RA** – původní RA „*Adjust vertical speed, adjust*“ pro snížení rychlosti stoupání/ klesání bylo vyhodnoceno jako matoucí, jelikož často vedlo k opačné reakci a ke zhoršení situace. Ke snížení bezpečnostních incidentů, plynoucích z nejednoznačné fráze, bylo proto v nové verzi nahrazeno frází „*Level off, level off*“.
2. **Vylepšení logiky reverse RA** – Po několika leteckých nehodách, kdy jedno z letadel nenásledovalo instrukce RA, verze 7.1 umožňuje vydat „spolupracujícímu letadlu“ opačné instrukce RA v případě, že druhé letadlo nereaguje v souladu s RA

[46]

Princip činnosti

Systém je navržený tak, aby poskytoval informace nezávisle na pozemních přehledových systémech, navigačních systémech na palubě a bez potřeby komunikace se stanovištěm ATC. Nezbytná je tak pouze informace o výšce z palubního odpovídače, pro TCAS II je potřebné vybavení letadla módem S.

Systém ACAS vysílá dotazy do svého okolí na frekvenci 1030 MHz, odpovědi z odpovídačů jsou vysílány na 1090 MHz. Z časového rozdílu mezi dotazem a odpovědí systém určí relativní vzdálenost a za pomoci dvou směrových antén (Nebo jedné směrové a jedné všesměrové antény) relativní směrnik odpovídajícího letadla. Samotná odpověď v sobě obsahuje informaci o barometrické výšce, na jejímž základě ACAS vyhodnotí, zda se jedná o potenciální hrozbu. Pokud se jedná o informaci z módu C, je přesnost výšky 100 ft, pokud jde o informaci z módu S, je výška vysílaná s přesností 25 ft. Pro informaci o vlastní výšce letadlo využije informaci z ADC (Air data computer) jejíž obnova je standardně po 1 ft.

Logika systému TCAS II

Pro stanovení adekvátního opatření systém pracuje s dvěma hlavními parametry: **úroveň citlivosti (Sensitivity level)** a **časem do bodu největšího sblížení** (time to Closest Point of Approach (tCPA)), označovaný také jako *tau*. Úroveň citlivosti závisí na výšce letu vlastního letadla (viz. obr. 12) a charakterizuje velikost ochranné obálky okolo letadla - čím letadlo letí výš, tím větší je zvolená úroveň citlivosti, a tím větší bude i čas výstrahy. Zvolená citlivost zároveň zamezuje nechtěnému spuštění výstrahy, např. v nízkých nadmořských výškách. Čas výstrahy se podle zvolené úrovně citlivosti pohybuje v rozmezí 20-48 s pro TA, a 15-35 s pro RA.

Own Altitude	Sensitivity levels (SL)
Stand-by mode	1
0 – 1000 ft AGL	2
1000 – 2350 ft AGL	3
2350 ft AGL – FL50	4
FL50 – FL100	5
FL100 – FL200	6
Above FL200	7

Obr. 12 Úrovně citlivosti v závislosti na výšce letu [46]

Všechny výstražné funkce systému jsou založené na konceptu *time-to-go*, nebo-li zbývajícím času do bodu CPA. TCAS II pracuje s časem do bodu největšího sblížení (*Range tau*) a časem, zbývajícím do dosažení stejné výšky (*vertical tau*), které v každém pracovním cyklu porovnává s prahovou hodnotou stanovenou na základě úrovně citlivosti. Pokud jsou obě hodnoty nižší, než je stanovené minimum, TCAS II vydá adekvátní výstrahu.

Pro určení smyslu RA (Rozhodnutí, zda stoupat nebo klesat) TCAS nejprve provede kontrolu záměru opačného letadla. Pokud žádný záměr nebyl přijat, je smysl RA zvolen na základě geometrie letadel. Druhému letadlu je potom vyslán prováděný manévr.

V případě, že oba systémy TCAS vyhodnotí konflikt ve stejném čase, může nastat šance, že obě letadla obdrží stejný smysl RA. V takovém případě letadlo s nižší adresou módu S dostává prioritu, a druhé letadlo volí obrácený smysl RA.

Sledování provozu

Systém TCAS II je schopný současně sledovat až 30 letadel na vzdálenost 14 NM v případě vybavení módem C, a až 30 letadel na vzdálenost 30 NM pro případ vybavení módem S. [46] Standardně systém vysílá dotaz každou vteřinu, pokud dané letadlo není vyhodnoceno jako potenciální hrozba, provádí systém kontrolu v delších časových intervalech. Pro snížení množství vysílání systému TCAS II se využívá tzv. **hybridního sledování**. Systémy, které jsou jím vybavené, využívají pasivní sledování pro cíle, které nepředstavují bezprostřední hrozbu. Pro pasivní sledování je polohová informace získávána z palubních navigačních systémů a vysílána na 1090ES módem S. V případě, že nehrozí potenciální výškový ani vzdálenostní konflikt, probíhá aktivní sledování jednou za minutu, pokud hrozí potenciální narušení jednoho z parametrů, TCAS vysílá aktivní dotaz jednou za 10 s. Aktivní sledování každou vteřinu probíhá, když je předpoklad, že letadlo naruší ochrannou zónu vlastního letadla.

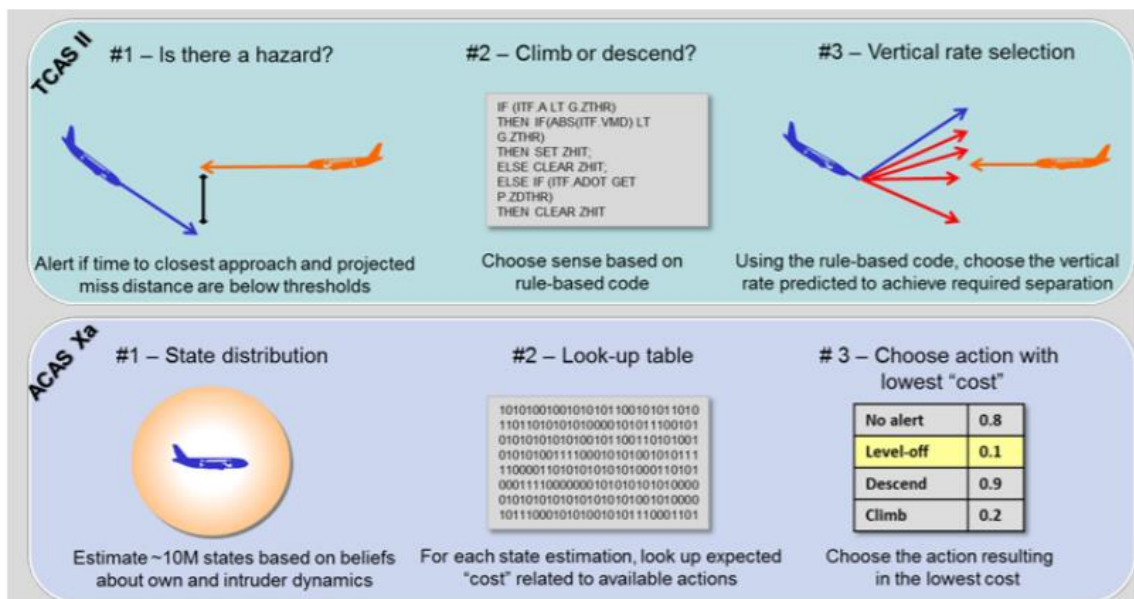
V případě, že je narušitel vybaven módem C, systém je schopný sledovat jeho výšku ve 100 ft krocích. Pokud je narušitel vybavený módem S, systém sleduje výšku s obnovou po 25 ft a navíc identifikuje jeho registrační adresu. Hlášení výšky po 25 ft krocích znamená nejen přesnější vertikální polohu, ale umožňuje i vydání efektivnější rady k vyhnutí.

V případě, že narušitel není vybavený odpovídačem s módem C nebo S, případně má-li odpovídač ve stand-by módu, není systém TCAS schopný vyhodnotit výšku letadla, a proto vydává pouze TA, pokud je vzdálenostní test vyhodnocen jako pozitivní.

ACAS X

Zatímco všechny dosavadní verze systémů ACAS mají přesně naprogramovaný algoritmus řešení konfliktů, nový koncept plánovaný pro uvedení do provozu v příštím desetiletí - ACAS X – přináší dvě zásadní změny. Zatímco TCAS II pracuje na principu dotaz-odpověď, na jejichž základě vyhodnocuje bod CPA a čas, zbývající do jeho dosažení, koncept ACAS X je založený na pravděpodobnostním modelu. Ten vychází z pravděpodobnostních odhadů budoucí polohy letadel, ke kterým vyhodnocuje efektivitu možných řešení. Výstup v podobě numerické tabulky je zobrazen pilotovi, který se na jeho základě rozhodne pro způsob řešení konfliktu. ACAS X zároveň pro vydání dekonfliktních příkazů bere v úvahu bezpečnostní a provozní opatření, včetně konfigurace vzdušného prostoru. Pilotovi je tak nabídnuto několik možných řešení včetně příslušné „ceny, kterou zaplatí“ (např. vyšší spotřebou paliva,

prodloužením času letu apod.). Pokud je to nezbytné, je následně vydána RA výstraha. Rozdílný princip řešení konfliktů je zobrazen na obr. 13.



Obr. 13 Princip řešení konfliktů – ACAS X_A vs TCAS II [46]

Druhou podstatnou změnou, kterou má nový systém přinést, je způsob zobrazení přehledové informace. Zatímco TCAS II se spoléhá výhradně na informace z odpovídače, pro ACAS X je zásadní integrace dat z několika nezávislých zdrojů, především možnost využití satelitní navigace a ADS-B.

Přínos zavedení ACAS X se očekává především v:

- Zamezení nechtěnému spuštění výstrahy, se kterým se lze setkat v případě TCAS II při velké vertikální rychlosti před dosažením letové hladiny
- Rozšíření protisrážkového systému mezi další druhy letecké dopravy (všeobecné letectví, bezpilotní prostředky). Systém TCAS II dnes umožňuje implementaci pouze u letadel, které splňují určitá výkonnostní kritéria (např. minimální rychlost stoupaní 2.500 ft).
- Možnosti využít informací ze satelitní navigace, ADS-B nebo z kombinace několika přehledových systémů, které splňují dané výkonnostní parametry
- Možnosti využít i při snížených rozstupech mezi letadly.

V rámci rozšíření protisrážkových systémů i pro využití ostatních uživatelů vzdušného prostoru se plánuje několik verzí ACAS X.

ACAS X_A jako nástupce současného TCAS II pro komerční lety. Dle Eurocontrolu (2017) by mohl být komerčně k dispozici v roce 2020. [46]

ACAS X_P jako verze plánovaná pro všeobecné letectví. Verze X_P se spoléhá výhradně na pasivní informace získané z ADS-B.

ACAS X_O je plánován jako nástavba verze X_A pro specifický druh operací, pro něž je použití ACAS X_A nevhodné. Plánuje se použít i pro provoz se sníženými rozstupy, např. přiblížení na paralelní dráhy, kde by ACAS X_A mohl spustit nežádoucí výstrahu.

ACAS X_U navržený pro bezpilotní systémy, zahrnuje i horizontální řešení konfliktů.

4.3 Navigační výkonnost

Pro jednoznačné definování navigačních schopností dnes existuje pojem navigační výkonnost nebo-li navigace založená na výkonnosti (PBN Performance based navigation), která charakterizuje úroveň a kvalitu navigačních služeb. Hlavní smysl PBN je, že nedefinuje požadovaný navigační systém, ale pouze stanovuje požadavky, které navigační systém musí splňovat. V praxi dnes PBN funguje stanovením minimální požadované výkonnosti pro každou část vzdušného prostoru nebo letovou trať. Jiné požadavky tak budou na navigační výkonnost na trati a v terminální oblasti. Úroveň PBN závisí na: **navigační infrastruktuře** (Pozemní nebo satelitní navigační systémy), **navigační specifikaci** (RNAV nebo RNP)¹⁵ a **navigačních aplikací**. [49]

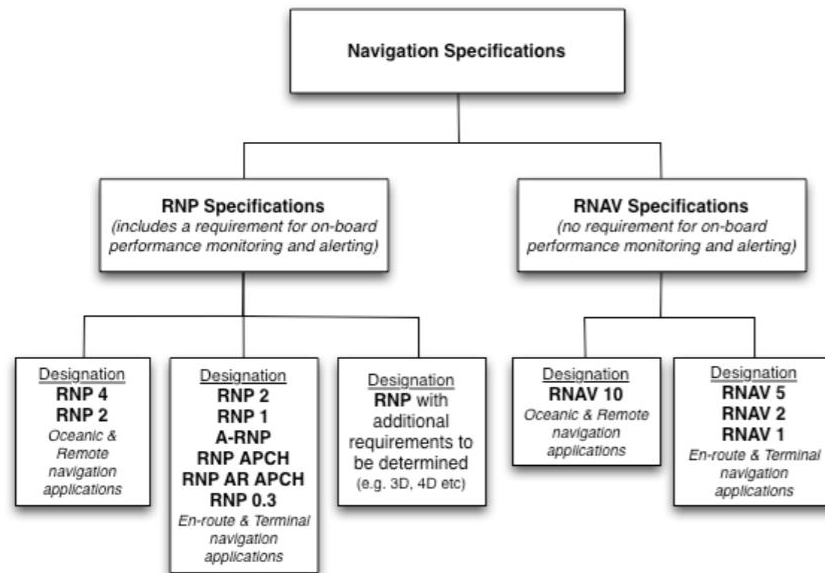
Pod pojmem navigační aplikace si lze představit stanovení požadované specifikace a infrastruktury pro daný vzdušný prostor, letovou trať nebo postupy pro přiblížení na přistání. Navigační specifikace existuje dvojího typu: RNAV nebo RNP (viz obr. 14), přičemž rozdíl mezi nimi je pouze požadavek na systém monitorování a výstrahy v případě RNP. Ten upozorní posádku v případě, že navigační systém nesplňuje požadavky na integritu.

Obě specifikace musí splňovat požadavky následující funkce:

- Nepřetržité ukazování polohy letadla vůči nahrané trati

¹⁵ RNAV Area Navigation
RNP Required Navigation Performance

- Zobrazení vzdálenosti a zaměření k následujícímu přeletovému bodu
- Zobrazení traťové rychlosti (GS) nebo doby k dosažení přeletového bodu
- Záloha navigačních dat
- Indikace chybovosti RNAV nebo RNP systému



Obr. 14 Navigační specifikace [49]

Primární postavení v navigačních systémech dnes zaujímá právě satelitní navigace (GNSS Global Navigation Satellite Systems), která díky rozmístění satelitní sítě umožňuje 3D určení polohy kdekoli na Zemi.

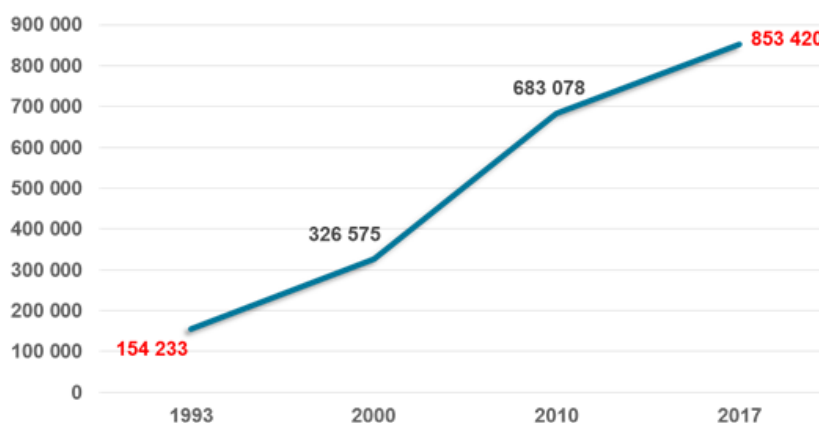
Navigační výkonnost je popisována následujícími 4 parametry:

- Přesnost: rozdíl mezi skutečnou a zobrazovanou polohou.
- Integrita: schopnost systému vyhodnotit a včas vyslat upozornění, že přesnost navigační informace nesplňuje bezpečné limity
- Spojitost: schopnost systému poskytovat službu bez přerušení.
- Dostupnost: doba, po kterou je služba k dispozici s požadovanou přesností, integritou a spojitostí.

5. Situace v českém vzdušném prostoru

Český vzdušný prostor v posledních letech zažívá podobný trend růstu jako zbytek Evropy. V roce 2017 počet přeletů nad Českou republikou narostl na 853 420, což je oproti roku 2016 nárůst o 2 %. V porovnání s rokem 2002 (411 256 pohybů) se jedná o více než zdvojnásobení letového provozu. V roce 2018 byla poprvé překonána hranice 900 000 letů. [50, 51]

Meziroční růst provozu ve FIR Praha za období 1993-2017 zobrazuje obr. 15.



Obr. 15 Vývoj provozu ve FIR Praha za období 1993-2017 [50]

Mezi leteckými dopravci je vzdušný prostor České republiky oblíbený především díky vysoké kvalitě poskytovaných služeb, vysoké bezpečnosti a zákaznický orientované cenové politice. To potvrzuje i neustálý růst tzv. přeletových jednotek, za rok 2017 se jedná o přírůstek 3,2 %. Hodnota průměrného zpoždění v tentýž rok dosáhla 0,05 minuty na jednotlivý let, což je výrazně nižší než průměrné zpoždění v Evropě (0,88 minuty na jeden let). [50, 14]

V roce 2018 k nárůstu provozu z části přispělo i nové opatření na základě doporučení EUROCONTROLu. V souvislosti s přetížením horního vzdušného prostoru sousední oblasti Karlsruhe UAC byla od května 2018 přes Českou republiku přesměrována část německého provozu, aby byl zajištěn vyrovnanější tok letového provozu ve střední a západní Evropě, s důrazem na přijatelnou míru zpoždění v celé oblasti. Důsledkem tohoto opatření byl mimo jiné i nárůst průměrného zpoždění na 0,9 minuty na jednotlivý let. [51]

Pro rok 2019 Eurocontrol předpovídá růst počtu pohybů nad Českem o 3,4 %. [12]

5.1 Charakteristika prostoru

Český vzdušný prostor, v němž je poskytována letová informační a pohotovostní služba, je označován jako **FIR Praha** (Flight information region). FIR Praha je vertikálně vymezený od země až do FL 660. Horizontálně FIR Praha neodpovídá přesným státním hranicím, ale na základě dohod se sousedními státy byly definovány souřadné body, které tvoří hranici FIRů. Přesné souřadnice hranic jsou k nalezení v AIP, ENR 2.1.

Vzdušný prostor, v němž je navíc poskytována služba řízení letového provozu (ŘLP), se označuje jako řízená oblast¹⁶ (CTA) nebo řízený okresek¹⁷ (CTR). Řízené oblasti v českém prostoru začínají ve výšce 1000 ft AGL¹⁸, a pokrývají celý prostor FIR Praha mimo CTR/MCTR a TMA/MTMA¹⁹. Do FL 125 v nich poskytují službu ŘLP příslušná přibližovací stanoviště letišť (CTA Karlovy Vary, CTA Brno, CTA Ostrava a CTA 1 Praha). Nad FL 125 se nachází CTA 2 Praha, v němž službu poskytuje oblastní středisko řízení ACC Praha.

Prostor CTA 2 Praha je dále horizontálně i vertikálně rozdělen na jednotlivé sektory. Horizontálně se jedná o sektory *Sever, Jih a Západ* (N, S, W), vertikálně sektory *low* (FL 125-FL 305), *middle* (FL 305- FL 355), *high* (FL 355-FL 375) a *top* (nad FL 375).

Struktura vzdušného prostoru je v ČR odlišná pro horní a spodní vzdušný prostor, jejich dělicí hladinou je FL 245. Horní vzdušný prostor pokrývá většinu traťových přeletů, jelikož pro většinu dopravních letadel se optimální cestovní hladiny nachází nad FL 300. Struktura spodního prostoru zahrnuje příletové a odletové tratě z letišť, zakázané, omezené a nebezpečné prostory a většinu vojenských prostorů, proto je podstatně složitější. Tratě letových provozních služeb pro spodní i horní vzdušný prostor jsou publikovány v AIP ENR 3.1, 3.2.

Rozsah poskytovaných služeb ve FIR Praha a pravidla pro lety IFR a VFR se odvíjí od klasifikace vzdušného prostoru. V ČR se aplikují třídy vzdušného prostoru G, E, D a C (viz AIP ENR 1.4).

Charakter provozu ve FIR Praha je výrazně ovlivněn polohou České republiky, v jejímž okolí se nachází několik mezinárodních evropských letišť. Největší vliv na provoz představují letiště

¹⁶ CTA Control Area – Řízená oblast (viz předpis L 11, Hlava 2, 2.10.3)

¹⁷ CTR/MCTR (Military) Control zone – Řízený okresek se zřizuje okolo řízených letišť (předpis L 11, Hlava 2, 2.10.5)

¹⁸ AGL (Above ground level) - výška nad zemským povrchem

¹⁹ TMA/MTMA (Military) Terminal Control Area – (Vojenská) Koncová řízená oblast

poblíž hranic – zejména letiště v Mnichově, Berlíně, Vídni, popř. v Bratislavě, jejichž přílety a odlety výrazně zvyšují vertikální pohyb v českém prostoru. Mezi sousedícími stanovišti LPS existují koordinační dohody, které definují přesné podmínky spolupráce. Struktura a obsah koordinačních dohod je dána evropskými předpisy, mimo jiné obsahuje i přesně dané parametry, které musí letadla splňovat na bodě předání.

5.2 Implementace systému volných vzdušných tratí (FRA)

Na základě nařízení EK č. 716/2014 [22] byl zahájen proces implementace volných vzdušných tratí v prostoru FIR Praha, dnes označovaný jako projekt FRACZECH (dříve FRAPRA).

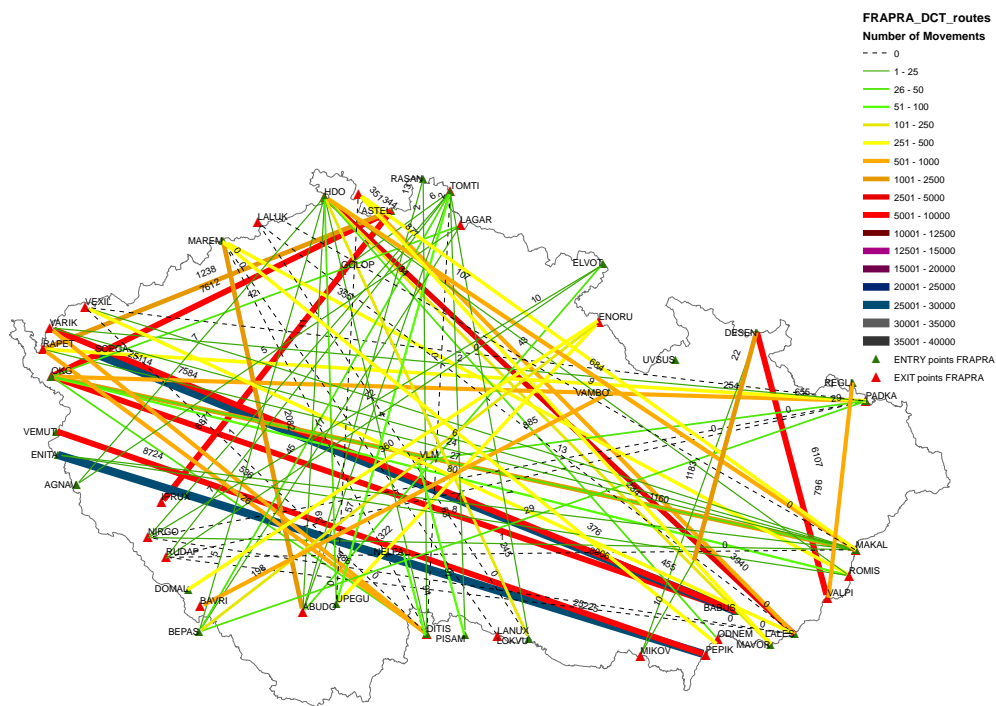
Ve FIR Praha proces implementace probíhá ve třech fázích [52]:

Fáze I – zahrnuje pouze časově omezené přímé tratě (DCTs – Direct routes) pro noční lety (2300-0500 UTC)

Fáze II – zavádění DCTs s působností H24 nebo s časovým omezením (2300-0500 UTC), postupně doplňovány dalšími segmenty přímých tratí (probíhá od února 2015)

Fáze III – Plné zavedení volných tratí s působností H24

Implementace se v současnosti nachází ve II. fázi. Ve FIR Praha stále ještě existuje struktura letových tratí, které jsou publikovány v AIP ENR 3.2, existující volné tratě jsou publikované s působností H24, ale jejich využití může být omezené v závislosti na aktuální situaci (vojenské aktivity apod.). Všechny publikované přímé tratě a aktuální omezení lze najít v AIP RAD Appendix 4. Na podzim 2019 se očekává přijetí dalšího balíku přímých tratí, které nahradí některé ze současných publikovaných tratí. Využití přímých tratí v roce 2017 lze vidět na obr. 16.



Obr. 16 Využití přímých tratí za rok 2017 [52]

Termín zavedení kompletního systému FRA byl stanoven na podzim 2021, kdy by mělo dojít k zavedení přímých tratí v celé oblasti FIR Praha s působností H24 (s výjimkou CTR/MCTR, TMA/MTMA) od 1000 ft AGL až po FL 660. Současně by mělo dojít ke zrušení stávající struktury letových tratí vedoucí přes přeletové body.

Ve FIR Praha se přímé tratě budou vztahovat pouze na publikované přeletové body (intermediate points), povolení plánování letů mimo publikované body se nepředpokládá.

Ačkoliv jsou už po většinu doby využívány volné tratě, letadla jsou stále povinná dodržovat vstupní a výstupní body. Toto omezení by v budoucnu mělo odpadnout při zavedení cross-border operací, tedy implementaci volných tratí i mezi sousedními státy. To se však v České republice prozatím v dohledné době neplánuje.

5.3 Kapacita českého vzdušného prostoru

Jak je popsáno výše v kapitole 2.1, z přístupů ke kapacitě můžeme rozlišit tzv. „statickou“ kapacitu sektoru, která vyjadřuje maximální počet letadel v sektoru v daný okamžik, a kapacitu „dynamickou“, referující k určitému časovému intervalu. Na naprosté většině stanovišť LPS budou dnes obě hodnoty stanovené s ohledem na pracovní vytížení (workload)

řídícího. Jelikož tato práce se zabývá pouze en-route kapacitou, jsou dále rozebírány pouze oblastní sektory. Stanoviště ACC Praha pro vyjádření kapacity používá hodnoty tzv. *occupancy value* a *monitoring value*.

Occupancy value vyjadřuje maximální počet letadel, které může mít řídící v jeden moment na spojení, a má především zajistit regulaci provozu, aby řídící nebyl nárazově přetížen, nebo aby nedošlo ke snížení kvality poskytovaných služeb z důvodu přetížení rádiové frekvence.

Monitoring value vyjadřuje časové kapacitní omezení sektoru jako maximální počet letadel, která vstoupí do prostoru během jedné hodiny. Tato hodnota zajišťuje, že množství provozu během jedné hodiny nepřekročí hranici, při níž by mohlo dojít k ohrožení bezpečnosti z důvodu vysoké zátěže řídícího.

Pro český vzdušný prostor se kapacitní omezení liší pro každý jednotlivý sektor, přičemž přesné hodnoty vychází z dlouhodobých analýz a zkušeností, a odvíjí se od tvaru a velikosti sektoru, ale i od charakteru provozu.

Pro předpověď očekávaného množství provozu slouží na stanovišti vedoucího směny **system NM CHMI**, který je propojen se systémem NM v Bruselu, do nějž vstupují veškeré informace z aktivních i podaných letových plánů. Díky tomu je vedoucí směny v předstihu informován o očekávaném provozu v nadcházejících hodinách, na jehož základě může upravovat počet potřebných řídicích a otevřených sektorů. Regulací počtu pracovišť zajišťuje efektivní propustnost prostoru a zároveň optimální vytížení řídicích, které by nemělo být příliš vysoké, ale ani příliš nízké.

Jako základ pro určení počtu otevřených pracovišť vedoucímu směny slouží tabulka uvedená v příloze C, která udává kapacitní limity pro různé konfigurace sektorů. V případě, že je hustota provozu nižší, vedoucí směny rozhodne o sloučení dvou případně více sektorů, kde řídí pouze jediný řídící. V závislosti na konkrétní konfiguraci prostoru zodpovědnosti se pak kapacitní omezení můžou lišit. Např. pro samostatný západní sektor *middle* je hodinová kapacita stanovená na 48 letadel. Při sloučení pracovišť *low* a *middle* v západním sektoru je to 46 letadel za hodinu, a v případě sloučení západních *high* a *top* sektorů se jedná o 50 letadel za hodinu.

V případě aktivních vojenských prostorů, zhoršených meteorologických podmínek (zejména bouřkové činnosti), nebo poruše systémů dochází k omezení propustnosti prostoru. Tabulka,

zobrazující kapacitní limity pro redukováný provoz vzhledem k povaze omezení, je zobrazena v příloze D.

Tato práce předpokládá, že v současném ani budoucím systému není cílem umístit do prostoru v jeden moment co nejvíce letadel, ale zajistit maximální propustnost prostoru v průběhu celého dne. Proto se následující část bude zabývat převážně hodinovou kapacitou. S navýšením propustnosti zároveň přímo souvisí i snaha o co největší snížení komplexity provozu.

6. Návrh modelu

Cílem nadcházející části práce je demonstrovat potenciální možnosti kapacity systému, proto tato část vychází z předpokladu, že lidský faktor nepředstavuje omezení pro množství provozu. Pro tyto účely byla zvolena simulace v prostředí *free flight* (viz kap 3.3), kde jsou posádky letadel zodpovědné za provedení letu a zajištění rozstupů, a řízení letového provozu není prováděno z centrální úrovně.

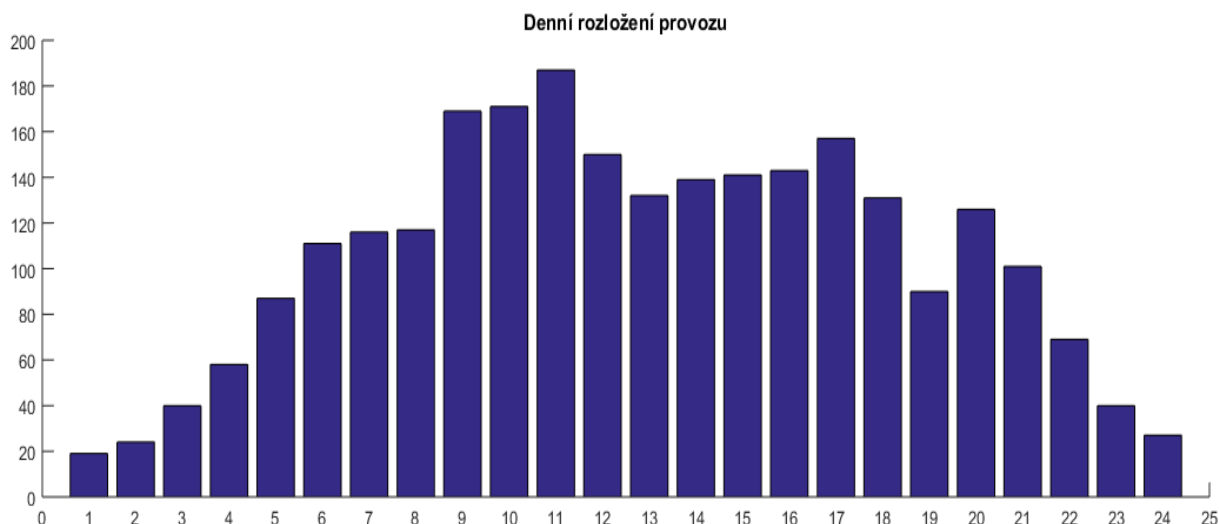
Model, představený v této práci, nelze brát jako model pro určení maximální kapacity prostoru, ale pouze jako demonstraci fyzických možností prostoru. Výsledná hodnota kapacity bude v konečném důsledku vždy závislá na konkrétních metodách CD&R, charakteru provozu, definovaných operačních postupech a dalších faktorech, jejichž definování není předmětem této práce. Protože práce se zabývá pouze problematikou traťové kapacity prostoru, vliv letištního provozu není v této části uvažován. Jako zkoumanou část prostoru proto bude využito rozmezí hladin FL 300–410, v nichž přílety a odlety nepředstavují významnější podíl. Nad FL 410 se dnes pohybuje jen velmi malé procento dopravních letadel, proto nemá smysl zkoumat kapacitu vyšších letových hladin.

6.1 Analýza dat

Pro výchozí bod simulace provozu byla použita historická data z přeletů nad Českou republikou ze dne 31. srpna 2018, který byl dosud (k únoru 2019) historicky nejvytíženějším dnem v evropském vzdušném prostoru. Data, použitá pro zpracování, pochází z ADS-B, jímž je podle Eurocontrolu nad FL 300 vybaveno přes 95 % letadel.

Zdrojem dat, použitých pro následující část práce, je OpenSky Network²⁰. V daný den bylo na Českou republikou nad FL 300 zaznamenáno 2 545 přeletů. Nejvytíženějším obdobím bylo rozmezí 9-11 hodiny, kdy bylo v jednotlivé hodiny zaznamenáno 169, 171 a 187 letadel, viz obr. 17.

²⁰ The OpenSky Network, © 2013–2019. <https://opensky-network.org>

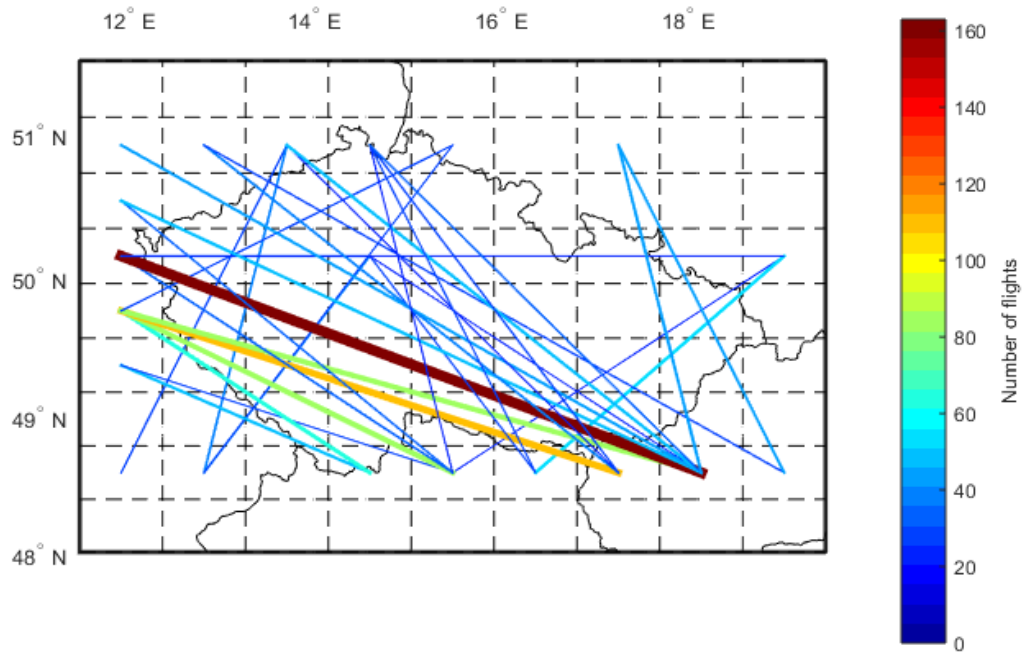


Obr. 17 Časové rozložení provozu

Pro vyhodnocení letových toků byly využity vstupní a výstupní body každého přeletu. Oproti skutečným trajektoriím letů nebyly uvažovány přeletové body. Toky tedy představují ideální trajektorii, kterou by letadla ve vymezeném prostoru letěly, kdyby nebyly nuceny dodržovat letové tratě nebo vybočit z přímé tratě z důvodu konfliktu. Letové toky byly vyhodnoceny jako spojnice vstupních a výstupních bodů na základě mřížkové aproximace - zkoumaný úsek obdélníkového filtru byl rozdělen mřížkou na 9x9 obdélníků. Lety začínající a končící ve stejném obdélníku byly vyhodnoceny jako jeden letový tok. Pro přehlednost jsou letové toky na následujícím obrázku zobrazeny od středů buněk.

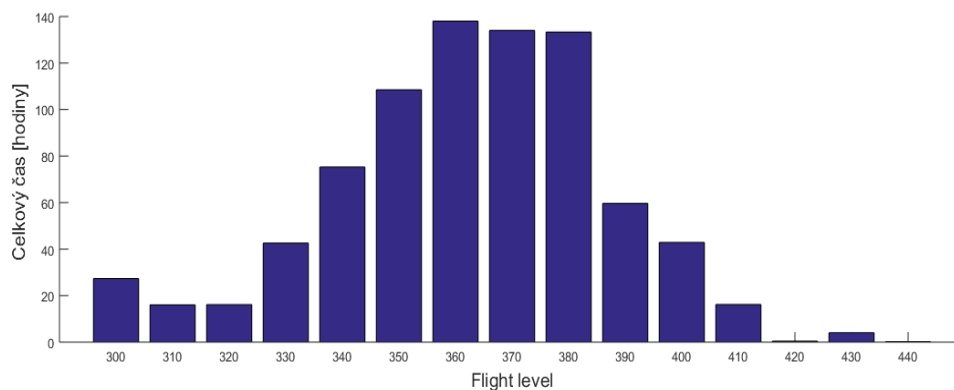
Obr. 18 zobrazuje letové toky nad FL 300, které byly v daném dni využity aspoň 20x. Pro další využití byly z původního počtu vynechány lety s dobou přeletu kratší než 10 minut. Výchozí počet letadel pro provedení simulace byl 1 427.

Z následujícího obrázku lze vyčíst, že jednoznačně nejvyužívanější tok byl západovýchodní s celkovým počtem 160 přeletů.



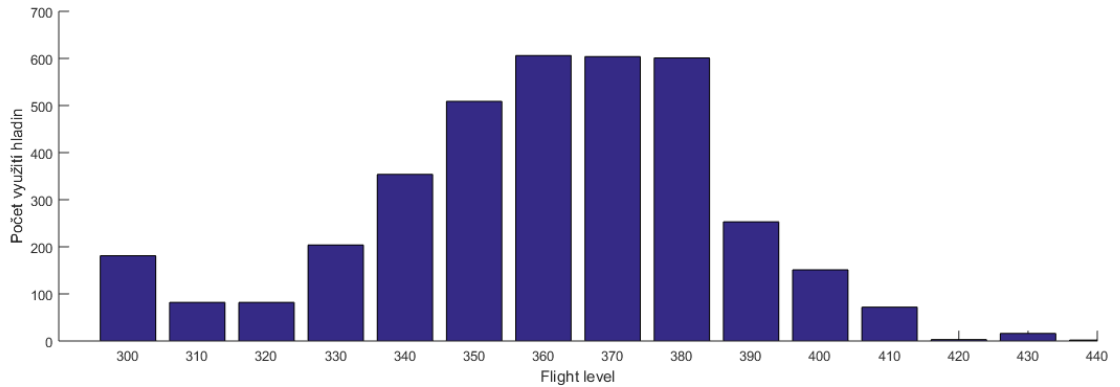
Obr. 18 Vyhodnocení letových toků

Distribuce provozu do jednotlivých letových hladin (FL) byla vyhodnocena na základě časového i početního využití každé letové hladiny. Letová hladina byla uvažovaná jako využívaná pouze pokud v ní letadlo strávilo více než 5 minut. Časové využití letových hladin v hodinách je zobrazeno na obr. 19.



Obr. 19 Časové využití letových hladin

Početní využití letových hladin zobrazuje obr. 20. Letová hladina byla opět uvažovaná jako využitá pouze v případě, že v ní letadlo strávilo alespoň 5 minut. V případě, že letadlo v prostoru změnilo letovou hladinu, a v obou hladinách strávilo část letu, jsou v grafu započítány obě letové hladiny.



Obr. 20 Počet využití letových hladin

Z obou předchozích grafů vyplývá, že nejvytíženější letové hladiny byly FL 350 – FL 380. Nejvyšší použitá hladina byla FL 430, která však v porovnání s ostatními hladinami pokryla jen zanedbatelný provoz. Pro následující část proto byla zvolená maximální použitelná hladina FL 410.

6.2 Definování podmínek simulace

Pro provedení fast-time simulace byl využit simulátor AgentFly²¹. Cílem provedeného měření bylo simulovat provoz v podmínkách, v nichž není omezujícím prvkem lidský faktor. Pro simulaci byl využit vzdušný prostor v horizontálních hranicích FIR Praha. Jelikož předmětem práce je studie pouze en-route kapacity prostoru, bylo snahou co nejvíce eliminovat vertikální pohyb ovlivněný přílety a odlety na letiště. Proto byla využita pouze část horního vzdušného prostoru mezi FL 300 – FL 410.

Primárním cílem simulace bylo eliminovat *workload* řídicího. Pro možnost porovnání se současným systémem byl způsob detekce a řešení konfliktu nastavený na metody uplatňované v dnešním řízení letového provozu. Řešení konfliktů probíhalo s časovým předstihem 4-9 minut. Vzhledem k tomu, že tok provozu létal po přímých tratích, byla k řešení konfliktů primárně využívána změna hladiny. Změna kurzu byla aplikovaná pouze v případech, kdy byla pro vyřešení situace výhodnější.

²¹ AgentFly Technologies, s.r.o. © 2019. <https://www.agentfly.com/>

Pro průběh simulace bylo využito letadlo A321, které létalo optimální rychlostí pro patřičnou letovou hladinu dle BADA²².

Dále byly pro průběh simulace uvažovány následující podmínky:

- Aplikované horizontální a vertikální minima rozstupů podle předpisu L 4444 – horizontálně 5 NM, vertikálně 1000 ft nad i pod letadlem.
- Letadla létala po přímých trajektoriích v cestovních hladinách. Změna kurzu a hladiny nastala pouze při řešení konfliktů.
- Ideální meteorologické podmínky, bez výskytu bouřkových oblastí, turbulence, či jiných meteorologických jevů, které mohou mít vliv na propustnost prostoru.
- Nejsou aktivovány žádné vojenské prostory ani jiná traťová omezení.

6.3 Výsledky simulace

Průběh simulace

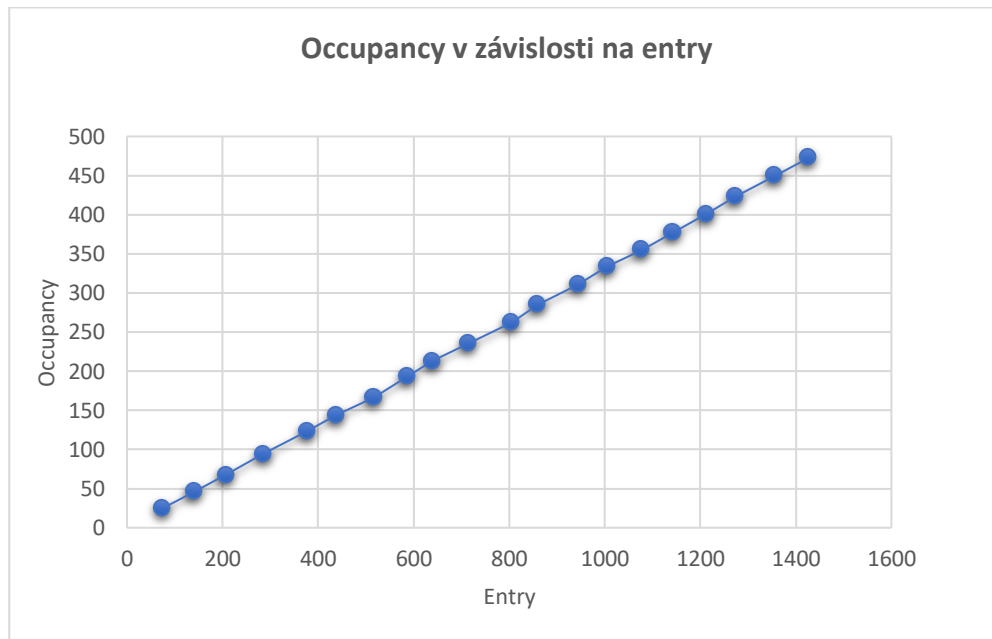
Generování provozu bylo provedeno na základě distribuce provozu ze dne 31.8.2018, viz kap. 6.1. Výchozím bodem byla hodnota 1 427 letů, které byly generovány na základě trajektorií na obr. 18 a rozprostřeny do hladin na základě distribuce na obr. 19. Pro zjištění potenciální kapacity byl generován provoz usazený na letových hladinách, ke změně hladiny nebo kurzu docházelo pouze při vyhýbání se konfliktům. Západní a východní toky od sebe byly odděleny podle pravidla sudých a lichých hladin.

Celkem bylo provedeno 20 měření, pro něž výchozí hodnotou bylo 1 427 letů rozprostřených do letových tras viz kap. 6.2. Pro každý běh byl pro tok provozu použit koeficient v rozmezí 0,05 – 1,00. Zvolený koeficient definoval vstupní hodnotu toku provozu (*Entry rate*), která byla zachována pro všechny trajektorie. Po naběhnutí provozu do prostoru (první část simulace) byly v intervalu 1 hod (druhá část simulace) sledovány tyto veličiny: průměrná obsazenost prostoru (*Occupancy value*), celkový počet konfliktů a počet úspěšně a neúspěšně vyřešených konfliktů.

²² BADA – Base of Aircraft Data – databáze výkonnostních charakteristik letadel vytvořená Eurocontrolem

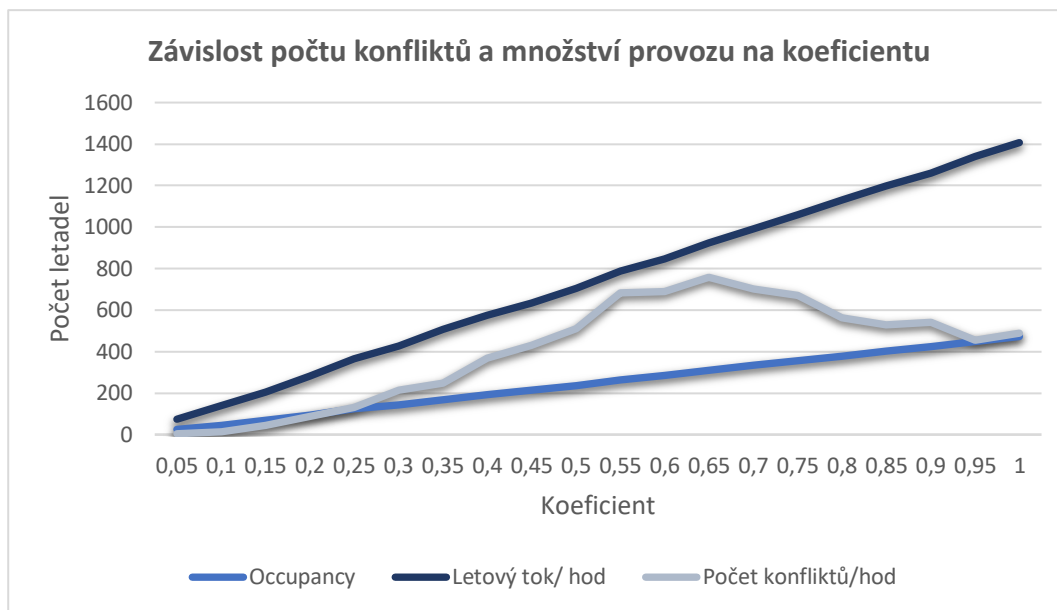
Výstupy simulace

Na následujícím grafu obr. 21 je zobrazena závislost průměrné *occupancy value* na *entry rate*. Z grafu vyplývá, že *obsazenost prostoru* přímo úměrně rostla se zvyšujícím se *letovým tokem*.



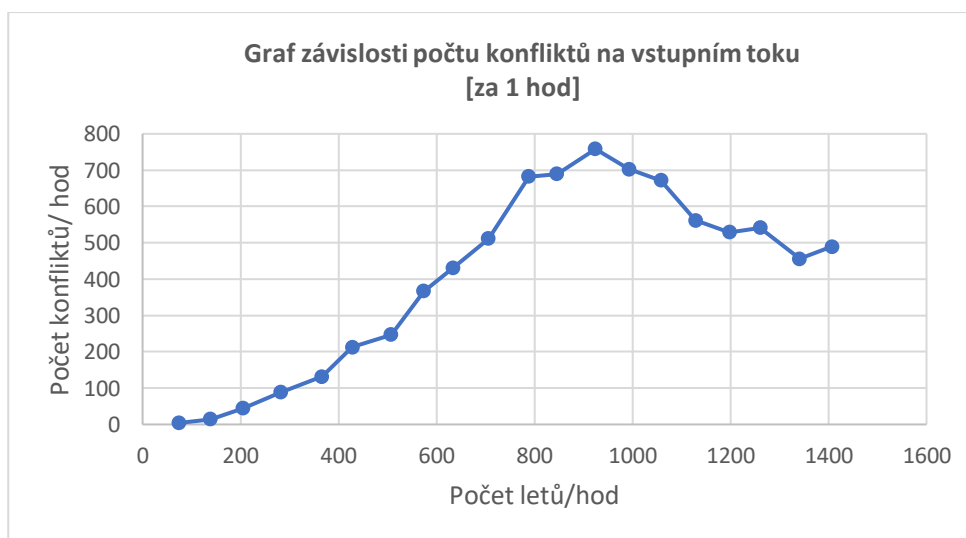
Obr. 21 Graf závislosti occupancy value na vstupním toku

Graf na obr. 22 prezentuje počet konfliktů/hod v porovnání s příslušnými hodnotami *hodinového toku* a *occupancy value* v závislosti na vstupním koeficientu. Výraznější nárůst konfliktů lze pozorovat při koef. 0,35, který odpovídá toku 507 letadel. Rapidní pokles konfliktů při koef. 0,65 vysvětluje přetížení systému – při provozu 924 letadel za hodinu již nedocházelo ke včasnému řešení konfliktů, detekce dalších přibývajících konfliktů proto nebyla adekvátní.



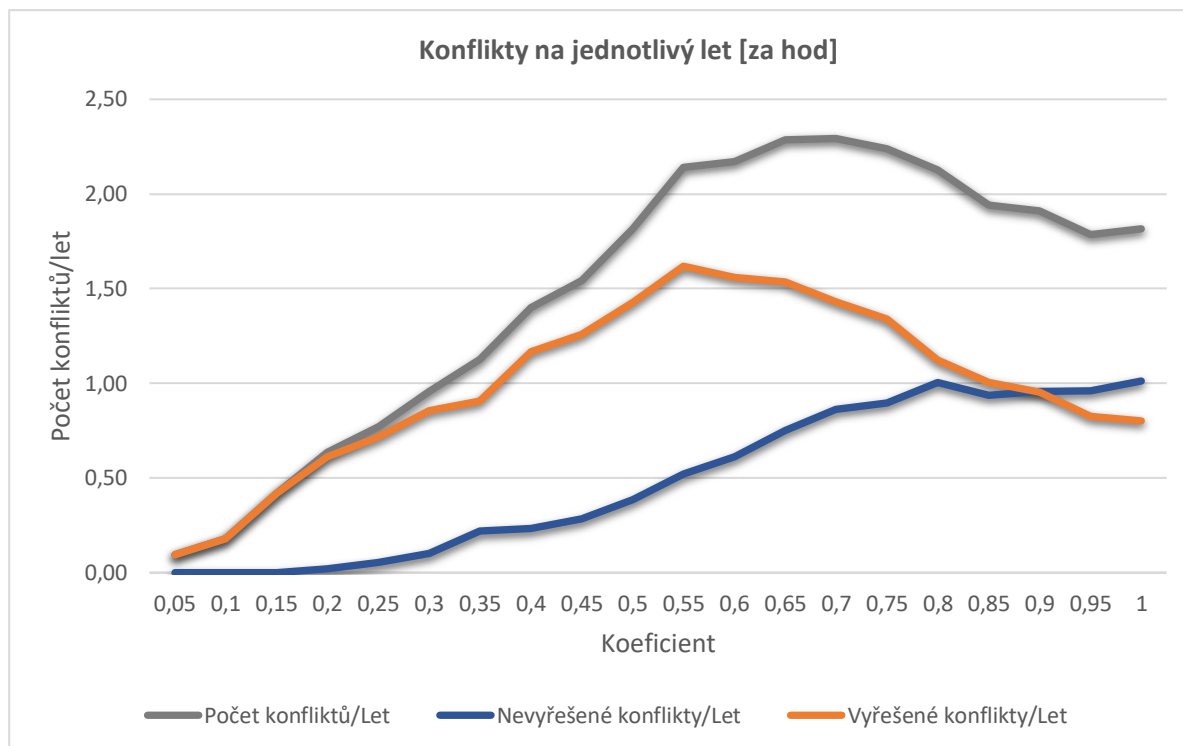
Obr. 22 Závislost počtu konfliktů

Podobný průběh zobrazuje i křivka počtu konfliktů za 1 hodinu, viz obr. 23. Při toku 924 letadel za hodinu systém vyhodnotil celkem 758 konfliktů. Úspěšnost a neúspěšnost řešených konfliktů je zobrazena na obr. 24.



Obr. 23 Závislost počtu konfliktů/hod na vstupním toku letadel

Kapacitní možnosti prostoru při ustálené komplexitě provozu souvisí s četností a řešením konfliktů. Následující graf (obr. 24) zobrazuje průměrný počet konfliktů na 1 letadlo za hodinu, a podíl úspěšně vyřešených a nevyřešených konfliktů. Největší provoz, při kterém bylo vyřešeno 100 % konfliktů odpovídá koeficientu 0,15, tzn. toku 205 letadel/hod.



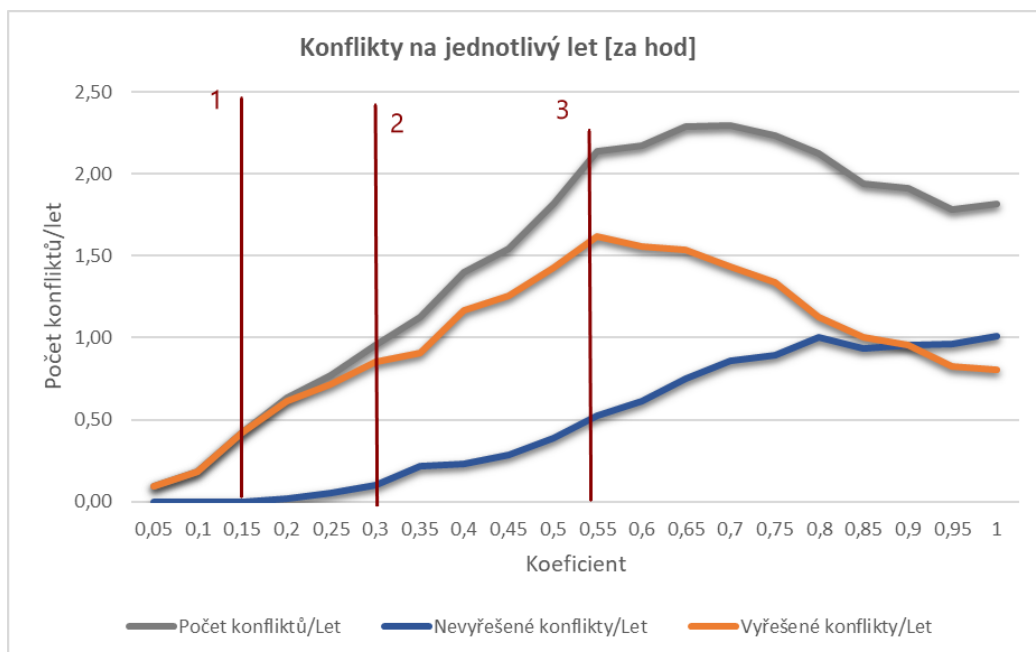
Obr. 24 Graf zobrazující počet konfliktů na let/ 1hod

Při dalším navyšování provozu přestaly být konflikty vyřešeny včas a došlo k porušení separací. S nastavenou metodou CD&R přestal systém zvládat řešit další množství konfliktního provozu včas.

Z toho vyplývá, že za předpokladu využití CD&R metod odpovídajících dnešnímu řízení letového provozu, bude v případě vypuštění zátěžového faktoru řídicího limitujícím faktorem právě **metoda detekce a řešení konfliktů**.

Z grafu lze dále vyčíst, že až do koef. 0,3 se počet nevyřešených konfliktů pohybuje do 10 % z celkového počtu konfliktů (bod 2, obr. 25). To odpovídá toku 428 letadel/hod, při němž bylo detekováno celkem 409 konfliktů, z nichž u 43 došlo ke ztrátě rozstupů.

Mezní bod simulace lze stanovit na koef. 0,55 (bod 3, obr. 25), odpovídající toku 788 letadel/hod, při kterém nastal skokový propad v detekci konfliktů i v úspěšnosti jejich řešení. Propad si lze vysvětlit tím, že při takovém množství provozu byl systém již natolik přetížený, že z důvodu množství nevyřešených konfliktů nebyl schopný již adekvátně detekovat další konfliktní provoz. Další průběh simulace proto nemá výraznější vypovídající hodnotu.



Obr. 25 Vyhodnocené mezní hodnoty simulace

7. Závěr

Předmětem diplomové práce bylo přiblížit současný problém kapacity Evropského vzdušného prostoru a současná kapacitní omezení, zhodnocení potenciálních technologických a operačních možností vedoucích k navýšení kapacity a přiblížit možný vývoj letového provozu ve středně až dlouhodobém časovém horizontu.

Práce vychází z předpokladu, že v současném systému letového provozu je nejvíce omezující prvek lidský faktor, od jehož pracovního zatížení se odvíjí maximální přípustné množství provozu. Cílem praktické části práce bylo zhodnocení současných kapacitních možností vzdušného prostoru v prostředí, v němž nevzniká omezení způsobené lidským faktorem. Pro vyloučení vlivu lidského faktoru byl zvolen simulovaný model v prostoru *free flight*.

Vzhledem ke složitosti a obsáhlosti této problematiky se práce zaměřuje pouze na en-route kapacitu prostoru. Proto praktická část zahrnovala pouze traťové lety v hladinách FL 300–410 bez uvažovaného vlivu okolních letišť, a s nimi spojených příletů a odletů, které by ve skutečnosti měly dopad na vyšší vertikální pohyb v prostoru.

Výsledky provedené fast-time simulace ukázaly, že v prostředí *free flight*, kde není uvažován vliv lidského faktoru, není kapacitním omezením nedostatek místa v prostoru, ale výsledné množství provozu bude úzce souviset se schopností detekce a řešení konfliktů (metoda CD&R).

Z výsledků simulace, prezentovaných na obr. 25 v kap. 6.3, potenciál pro zvýšení kapacity představuje oblast v grafu s koef. 0,15-0,30, kde množství nevyřešených konfliktů nepřevýšilo 10 %. Tyto konflikty by v teoretické rovině mohly být vyřešeny s vylepšením metody CD&R, která přímo souvisí s úrovní automatizace palubních systémů.

Prostor pro potenciální navýšení kapacity tak nabízí především technologický vývoj palubních systémů a metod detekce a řešení konfliktů. Vyšší úrovně metody CD&R by v teoretické rovině mohlo být dosaženo díky přesnější přehledové informaci zobrazené posádkám v kokpitu, a většímu situačnímu přehledu o okolním provozu. Druhým předpokladem je umožnění sdílení většího množství objemu dat mezi letadly v reálném čase, které zajistí včasné detekování hrozícího konfliktu a následné vyhodnocení nejefektivnějšího řešení pro obě strany konfliktu.

Cílem diplomové práce byla studie potenciálních možností kapacity vzdušného prostoru se zaměřením na situaci v Evropském vzdušném prostoru. Pro vypracování práce byly využity dostupné literární zdroje, předpovědi letového provozu i operační plány pro nadcházející období. V kapitolách zabývajících se konceptem free flight a současnou situací v českém vzdušném prostoru byly využity poznatky a informace získané v průběhu odborných konzultací. Veškeré stanovené cíle práce byly splněny.

Seznam použitých zdrojů

- [1] EUROCONTROL. *EATM glossary of terms*, reference: (EATCHIP, 1996). 2004 [cit. 2018-12-10]
- [2] ICAO. *doc. 9882, Manual on Air Traffic Management System Requirements*. 2008 [cit. 2018-12-10] Dostupné z: [http://dgca.gov.in/intradgca/intra/icaodocs/Doc%209882%20-%20Manual%20on%20Air%20Traffic%20Management%20System%20Requirements%20Ed%201%20\(En\).pdf](http://dgca.gov.in/intradgca/intra/icaodocs/Doc%209882%20-%20Manual%20on%20Air%20Traffic%20Management%20System%20Requirements%20Ed%201%20(En).pdf)
- [3] Letecká informační služba, ŘLP, ČR s.p. *Postupy pro letové navigační služby uspořádání letového provozu (L4444)*. Letecká informační služba RLP CR s.p, 2018
- [4] Letecká informační služba, ŘLP ČR, s.p. *Letecká informační příručka*, 2018
- [5] Soldán V., Janko L. *Uspořádání toku letového provozu – ATFM* [online]. 23.4.2018, [cit. 12.12.2018]. Dostupné z: http://pnerscontacts.upce.cz/50_2018/Soldan.pdf
- [6] Letecká informační služba, ŘLP ČR, s.p. *Předpis L11 Letové provozní služby*. 2018
- [7] Mogford, R. H., Guttman, J. A., Morrow, S. L., & Kopardekar, P. (1995). *The complexity construct in air traffic control: A review and synthesis of the literature* (DOT/FAA/CT-TN95/22). 1995 [cit. 12.1.2019] Atlantic City International Airport: Federal Aviation Administration William J. Hughes Technical Center. Dostupné z: <http://hf.tc.faa.gov/publications/1995-the-complexity-construct-in-air-traffic-control/>
- [8] Eurocontrol. *Description of capan method* [online]. [cit. 12.1.2019]. Dostupné z: https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/field_tabs/content/documents/nm/airspace/airspace-capan.pdf
- [9] Hongyong Wang, Ziqi Song, and Ruiying Wen. *Modeling Air Traffic Situation Complexity with a Dynamic Weighted Network Approach* [online]. Jan 2018 [cit. 15.1.2019]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1155/2018/5254289>
- [10] Flynn, G., Leleu, C., and Zerrouki, L. *Traffic Complexity Indicators and Sector Typology Analysis of US and European Centres* [online]. Nov 2003 [cit. 15.1.2019]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/traffic-complexity-indicators-and-sector-typology-analysis-us-and-european-centres>
- [11] IATA, *IATA Forecast Predicts 8.2 billion Air Travelers in 2037* [online]. Oct 2018 [cit. 10.1.2019] Dostupné z: <https://www.iata.org/pressroom/pr/Pages/2018-10-24-02.aspx>
- [12] Eurocontrol. *Seven year forecast February 2018*.
- [13] Eurocontrol. *European aviation in 2040 - Challenges of growth report* [online]. 2018 [cit. 10.1.2018]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/publications/european-aviation-2040-challenges-growth-report>
- [14] Eurocontrol. *Performace review report 2017* [online]. 2017 [cit 10.1.2019]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/publications/performance-review-report-prr-2017>
- [15] ŘLP ČR, s.p. *Projekt FAB CE* [online]. [cit. 23.1.2019]. Dostupné z: <http://www.rlp.cz/spolecnost/profil/Stranky/projektFABCE.aspx>

- [16] European Commission. *Single European Sky* [online]. [cit. 10.2.2019] Dostupné z: https://ec.europa.eu/transport/modes/air/ses_en
- [17] CEP. *Single European Sky (SES II+)*. In: *cep.eu* [online]. 2013 [cit. 10.2.2019]. Dostupné z: https://www.cep.eu/fileadmin/user_upload/cep.eu/Analysen/COM_2013_410_Europ._Luftraum/cepBackground_SES_II_.pdf
- [18] SESAR Joint Undertaking. *European ATM Master Plan, edition 2015* [online]. 2015 [cit. 11.2.2019]. ISBN 978-92-9216-034-0
- [19] *Regulation EC n. 551/2004 on the organisation and use of the airspace in the single European sky (the airspace Regulation)* [online]. March 2004 [cit. 10.2.2012]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2004R0551:20091204:EN:PDF>
- [20] Eurocontrol. *Functional airspace block (FAB)* [online]. [cit. 11.2.2019]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/articles/functional-airspace-block-fab>
- [21] Eurocontrol. *Free route airspace (FRA)* [online]. [cit. 11.2.2019]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/articles/free-route-airspace>
- [22] *Prováděcí nařízení Komise (EU) č. 716/2014 ze dne 27. června 2014 o zřízení pilotního společného projektu na podporu provádění evropského hlavního plánu uspořádání letového provozu* [online]. 2014 [cit. 17.4.2019]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32014R0716>
- [23] SESAR Joint undertaking. *SESAR Concept od Operations Step 1, edition 01.00.00* [online]. 2012 [cit. 11.2.2019]. Dostupné z: https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/highlight/SESAR_ConOps_Document_Step_1.pdf
- [24] Eurocontrol. *Flexible use of airspace* [online]. [cit. 15.2.2019]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/articles/flexible-use-airspace>
- [25] *Commission Regulation (EC) No 2150/2005 of 23 December 2005 laying down common rules for the flexible use of airspace* [online]. Dec 2005 [cit. 15.2.2019]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32005R2150>
- [26] Eurocontrol. *Dynamic Airspace Configuration (DAC) in Dynamic Mobile Areas (DMA)* [online]. [cit. 15.2.2019]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/articles/dynamic-airspace-configuration-dac-dynamic-mobile-areas-dma>
- [27] Eurocontrol. *Exercise 4 - Simulation Potential Improvements Measures* [online]. Feb 2012 [cit. 15.2.2019]. Dostupné z: https://www.icao.int/APAC/Meetings/2012_CMC/Exercise%204%20-%20Improvement%20measures.pdf
- [28] J. M. Hoekstra. *Designing for Safety: The Free Flight Air Traffic Management Concept*. 2001. ISBN 90-806343-2-8
- [29] Eurocontrol experimental centre. *Air traffic freeway system for Europe* [online]. Nov 2005 [cit. 20.3.2019]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/air-traffic-freeway-system-europe>

- [30] Jacco Hoekstra, Rob Ruigrok. *Overview of NLR ASAS work*, In: *ASAS Thematic Network Second workshop 6-8 October 2003*. Malmö, Oct 2003 [cit. 21.3.2019]. Dostupné z: https://www.eurocontrol.int/care-asas/public/standard_page/activities_0_ws02.html
- [31] ICAO. *2016-2030 Global Air Navigation Plan*. Fifth edition [online]. Montréal, 2016 [cit. 25.3.2019]. ISBN 978-92-9258-000-1. Dostupné z: www.icao.int
- [32] Eurocontrol. *Principles of Mode S Operation and Interrogator Codes* [online]. Edition n. 2.3., 2003 [cit. 18.3.2019]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/surveillance-modes-principles-of-modes-operation-and-interrogator-codes-20030318.pdf>
- [33] Eurocontrol. *Mode S Enhanced Surveillance – Assessment of Aircraft Capability* [online]. 2005 [cit. 18.3.2019]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/nm/surveillance/surveillance-mode-s-information-paper-ehs-capability-assessment-20050516.pdf>
- [34] Eurocontrol. *Mode S operational overview* [online]. UK, 2009 [cit. 18.3.2019]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/articles/mode-s-operational-overview>
- [35] ADS-B Technologies. ADS-B Technologies website [online]. © 2019 [cit. 19.3.2019]. Dostupné z: <http://www.ads-b.com/>
- [36] NETALERT – the Safety Nets Newsletter [online]. April 2016 [cit. 19.3.2019]. Dostupné z: <https://eurocontrol.int/publications/netalert-newsletter-issue-21>
- [37] European Commission. *Commission Implementing Regulation (EU) No 1207/2011 of 22 November 2011 laying down requirements for the performance interoperability of surveillance for the single European sky* [online]. Nov 2011 [cit. 29.3.2019]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32011R1207>
- [38] Ali, B. S., Schuster, W., & Ochieng, W. Y. (2016). *Evaluation of the Capability of Automatic Dependent Surveillance Broadcast to Meet the Requirements of Future Airborne Surveillance Applications*. *Journal of Navigation*, 70(01), 49–66. doi:10.1017/s0373463316000412
- [39] Federal Aviation Administration. *ADS-B In Pilot Application* [online]. Last modification June 2018 [cit. 8.4.2019]. Dostupné z: <https://www.faa.gov/nextgen/programs/adsb/pilot/>
- [40] Satish C. Mohleji Ganghuai Wang. *Modeling ADS-B Position and Velocity Errors for Airborne Merging and Spacing in Interval Management Application* [online]. 2010 [cit. 30.3.2019].
- [41] Aireon. *Aireon system goes live – trial operations begin over the North Atlantic marking new chapter in aviation history* [online]. London, Apr 2019 [cit. 14.4.2019]. Dostupné z: <https://aireon.com/2019/04/02/aireon-system-goes-live-trial-operations-begin-north-atlantic-marking-new-chapter-aviation-history/>
- [42] ADS-B Technologies. *What is Space-Based ADS-B?* [online]. © 2019 [cit. 14.4.2019]. Dostupné z: <http://www.ads-b.com/space-based.htm>
- [43] FAA, Eurocontrol. *Principles of Operations for the Use of ASAS, version 7.1* [online]. June 2001 [cit. 14.4.2019]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/care-asas/gallery/content/public/docs/po-asas71.pdf>

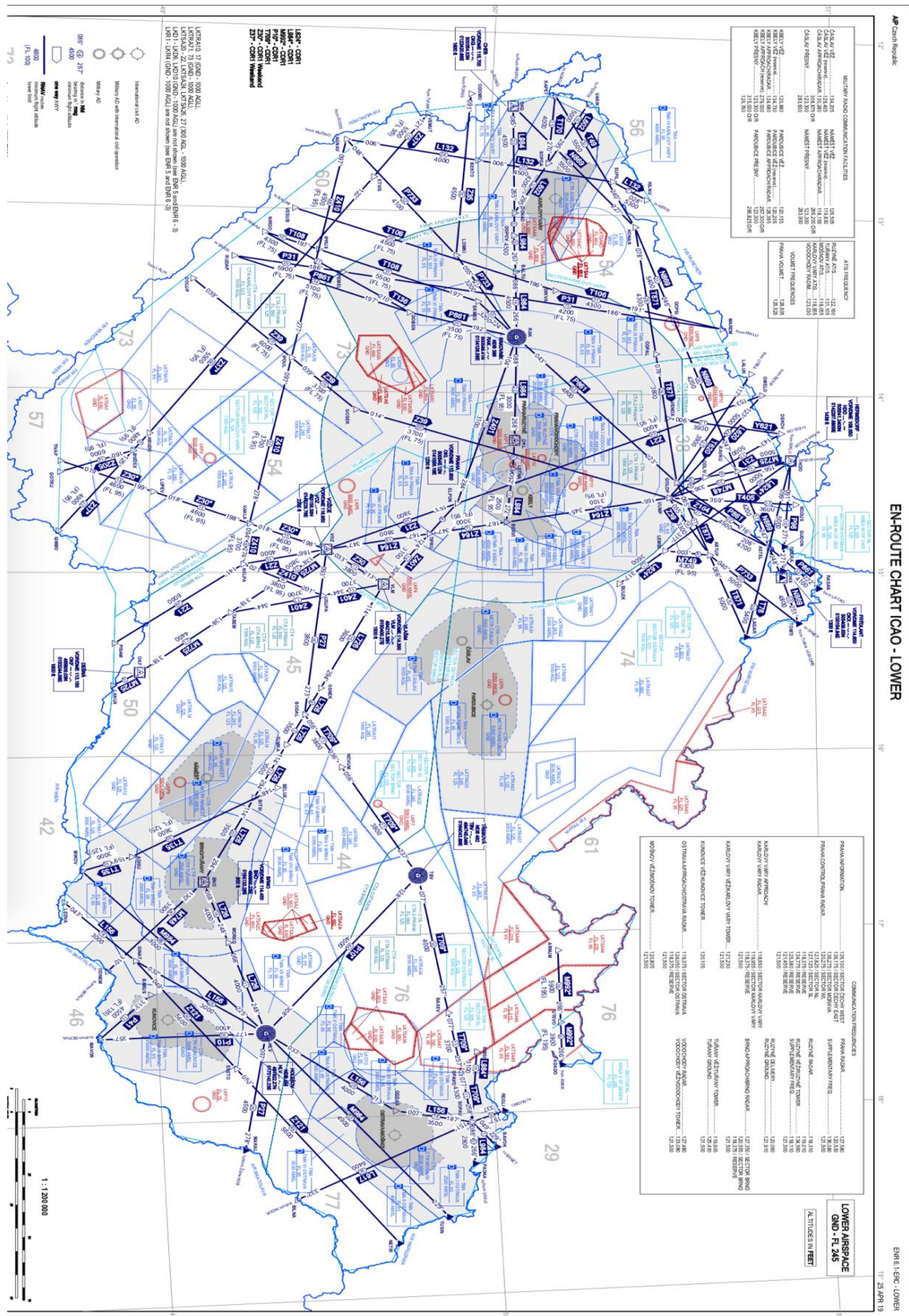
- [45] COMMISSION REGULATION (EU) No 1332/2011 of 16 December 2011 laying down common airspace usage requirements and operating procedures for airborne collision avoidance [online]. Dec 2011 [cit. 8.3.2019]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:336:0020:0022:EN:PDF>
- [46] Eurocontrol. *ACAS GUIDE, Airborne Collision Avoidance, edition 3.0* [online]. Dec 2017 [cit. 8.3.2019]. Dostupné z: <https://eurocontrol.int/publications/airborne-collision-avoidance-system-acas-guide>
- [47] FAA. *Introduction to TCAS II, Version 7.1* [online]. Feb 2011 [cit.8.3.2019]. Dostupné z: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/TCAS%20II%20V7.1%20Intro%20booklet.pdf
- [48] *NETALERT - the Safety Nets newsletter* [online]. June 2013 [cit. 8.3.2019]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/netalert-17.pdf>
- [49] ICAO. *Performance based navigation manual, ICAO doc 9613. 4th edition*. 2013 [cit. 8.3.2019]. Dostupné z: https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/field_tabs/content/documents/single-sky/mandates/20120705-pbn-manual-advanced-fourth-edition.pdf
- [50] ŘLP ČR, s.p. *Zájem o české nebe stále roste* [online]. 2018 [cit. 5.2.2019]. Dostupné z: http://www.rlp.cz/spolecnost/tisk/tiskzpravy/Stranky/Zajem_o_ceske_nebe_roste.aspx
- [51] ŘLP ČR, s.p. *Provoz v roce 2018: hranice 900 000 letových pohybů překonána* [online]. 2019 [cit. 5.2.2019]. Dostupné z: <http://www.rlp.cz/spolecnost/tisk/tiskzpravy/Stranky/Provoz-v-roce-2018.aspx>
- [52] ŘLP ČR, s.p. *Free route airspace Prague* [online]. 2017 [cit.7.2.2019]. Dostupné z: <http://www.rlp.cz/spolecnost/tisk/Stranky/prezentace.aspx>
- [53] The OpenSky Network, © 2013–2019. <https://opensky-network.org>

Seznam zkratek

ACAS	Airborne Collision Avoidance System	Palubní protisrážkový systém
ADS-B	Automatic dependent surveillance - broadcast	Závislý přehledový systém - broadcast
ADS-C	Automatic dependent surveillance - contract	Závislý přehledový systém - contract
AFUA	Advanced flexible use of airspace	Pokročilé využívání vzdušného prostoru
AIP	Aeronautical information publication	Letecká informační příručka
AMC	Airspace management cell	Služba uspořádání vzdušného prostoru
ANSP	Air navigation service provider	Poskytovatel letových provozních služeb
ASAS	Airborne separation assurance system	Palubní systém pro zajištění separací
ASM	Airspace management	
ATC	Air traffic control	Řízení letového provozu
ATFM	Air traffic flow management	Služba uspořádání toku letového provozu
ATM	Air traffic management	Uspořádání letového provozu
ATS	Air traffic services	Letové provozní služby
ATSAW	Air traffic situational awareness	
AUP	Airspace use plan	Plán využití vzdušného prostoru
CD&R	Conflict detection and resolution	Funkce detekce a vyřešení konfliktu
CDTI	Cockpit display of traffic information	Zobrazení informace o provozu
CEATS	Central European Air Traffic Services	Společné středoevropské středisko
CFMU	Central flow management unit	Centrální středisko řízení toku letového provozu
CNS	Communication, navigation and surveillance	
CTA	Control Area	Řízená oblast
CTR	Control Zone	Řízený okresek
DAC	Dynamic airspace configuration	Dynamická konfigurace vzdušného prostoru
DAP	Downlink aircraft parameters	
DCT	Direct routes	Přímé tratě
DMA	Dynamic mobile areas	
FAB	Functional airspace block	Funkční vzdušný blok
FF	Free flight	
FFAS	Free flight airspace	Vzdušný prostor pro <i>free flight</i>
FIR	Flight information region	Letová informační oblast
FMS	Flight management system	
FPL	Flight plan	Letový plán
FRA	Free route airspace	Vzdušný prostor volných tratí
FUA	Flexible use of airspace	Flexibilní využívání vzdušného prostoru
IFR	Instrument flight rules	Pravidla létání podle přístrojů
LoA	Letter of agreement	
LPS		Letové provozní služby
MAS	Managed airspace	Řízený vzdušný prostor
(M)VPA	(Military) Variable profile area	
NM	Network Manager	
PBN	Performance based navigation	Navigace založená na výkonnosti
PSR	Primary surveillance radar	Primární přehledový radar

RA	Resolution advisory	Rada k vyhnutí
RNAV	Area navigation	Prostorová navigace
RNP	Required navigation performance	Požadovaná navigační výkonnost
SES	Single european sky	Jednotné vzdušné nebe
SESAR	Single european sky ATM research	
SSR	Secondary surveillance radar	Sekundární přehledový radar
TA	Traffic advisory	Upozornění na okolní provoz
TCAS	Traffic collision avoidance system	Palubní protisrážkový systém
CPA	Closest point of approach	Bod největšího sblížení
TIS-B	Traffic information service - broadcast	Služba poskytování informací o provozu
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 létání za vidu

Příloha A – Spodní vzdušný prostor FIR Praha



Zdroj: AIP ENR 6.1

Příloha C – Kapacitní hodnoty sektorů ACC Praha

SEKTORY ACC LKAA		MONITORING VALUES /MV/						Entry Counts H / 20
		Occupancy Traffic / OTMV - Duration /						
		SUSTAINED		PEAK		Standard		
		1 min.	6 min.	1 min.	6 min.			
NOČNÍ* 22,7	ALL	17	22	20	26	45		
	LMH	13	16	16	20	42		
HT	HT		15	19	18	21	45	
	T		15	19	18	21	45	
	*H 22 - 07		10	13	13	16	48	
	W	HT	10	13	13	16	50	
		T	10	13	13	16	48	
		H	10	13	13	16	48	
	N	HT	10	13	13	16	50	
		T	10	13	13	16	48	
		H	10	13	13	16	48	
	S	HT	11	14	14	17	50	
		T	11	14	14	17	48	
		H	10	13	13	16	48	
	NS	HT	15	19	18	21	50	
		T	14	18	17	20	48	
		H	12	15	15	19	48	
LM	*LM 22 - 07		12	15	15	19	45	
	M		10	13	13	16	50	
	L		10	13	13	16	50	
	W	LM	9	12	12	15	46	
		M	9	13	12	16	48	
		L	10	13	13	16	50	
	N	M	9	13	12	16	48	
		L	10	13	13	16	50	
	S	M	10	13	13	16	50	
		L	10	13	13	16	50	
	NS	*LM	11	14	14	17	45	
		M	9	14	12	17	46	
		L	10	13	13	16	50	

Zdroj: ŘLP ČR

Příloha D – Kapacitní limity ACC Praha pro redukované tratě

SEKTORY ACC LKAA		REDUKOVANÉ TRATĚ					
		voj. aktivita	TS	výpadek IDP	E2000 E/S	mini ESUP U/S	
		90	80	75	60	50	
NOČNÍ PROVOZ 22-07		ALL	40	36	33	28	23
		LMH	38	34	31	26	21
HT	HT		40	36	33	28	23
	T		40	36	33	28	23
	*H 22 - 07		44	38	35	31	26
	W	HT	45	40	36	30	25
		T	44	38	35	31	26
		H	44	38	35	31	26
	N	HT	45	40	36	30	25
		T	44	38	35	31	26
		H	44	38	34	31	26
	S	HT	45	40	36	30	25
		T	44	38	35	31	26
		H	44	38	35	31	26
	NS	HT	45	40	36	30	25
		T	44	38	35	31	26
		H	44	38	35	31	26
LM	*LM 22 - 07		40	36	33	28	23
	M		45	40	36	30	25
	L		45	40	36	30	25
	W	LM	41	37	34	27	23
		M	45	40	36	30	25
		L	45	40	36	30	25
	N	M	45	40	36	30	25
		L	45	40	36	30	25
	S	M	45	40	36	30	25
		L	45	40	36	30	25
	NS	*LM	40	36	33	28	23
		M	41	37	34	27	23
		L	45	40	36	30	25

Zdroj: ŘLP ČR