



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

APLIKACE KONCEPTU FREE FLIGHT V RÁMCI EVROPSKÉHO VZDUŠNÉHO PROSTORU

APPLICATION OF THE FREE FLIGHT CONCEPT WITHIN EUROPEAN AIRSPACE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE: Bc. PŘEMYSL POLÁŠ
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE: ING. JAROSLAV JONÁK, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2012

ANOTACE

Diplomová práce vyjadřuje názor na možnost aplikace konceptu Free Flight v Evropském vzdušném prostoru, zejména jeho varianty Free Flight Self-Separation. Práce na začátku charakterizuje okolnosti a důvody pro jeho aplikace jak v teoretické, tak praktické rovině. Následuje rozbor klíčových prvků konceptu, především systému ASAS, a analýzu nevhodnějšího způsobu jejich provedení. Dále se práce zabývá konkrétní technickou realizací těchto klíčových komponentů, zejména systémem ADS-B. V poslední kapitole je rozebrán vliv výkonnostních parametrů příslušných technologií a ostatních provozních faktorů na kapacitu systému ASAS, která určuje jeho aplikovatelnost pro konkrétní oblasti vzdušného prostoru.

Klíčová slova

Free Flight, ASAS, aplikace, CD&R modul, minimální rozestupy, kapacita, hustota provozu

ANNOTATION

The master thesis expresses the opinion on application of the Free Flight concept in European Airspace. In the beginning, the reason and the circumstances for concept application are characterized from both theoretical and practical approach. Afterwards, the key technology elements are defined as well as the ideal approach for developing them. Especially system ASAS was a subject of the deep investigation. Then the system ADS-B is introduced with all related issue from a performance point of view. Finally, the main factors affecting the capacity of the ASAS system in specific area of Airspace are investigated.

Keywords

Free Flight, ASAS, Application, CD&R module, separation minima, capacity, traffic density

Bibliografická citace

POLÁŠ, P.: *Aplikace konceptu free flight v rámci evropského vzdušného prostoru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. S. Vedoucí diplomové práce Ing. Jaroslav Jonák Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem Diplomovou práci zpracoval sám na základě znalostí nabytých studiem odborné literatury a příslušných podkladů, uvedených v seznamu použité literatury.

25. května 2012 v Brně

.....
Přemysl Poláš

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval mému vedoucímu diplomové práce Ing. Jaroslav Jonák Ph.D. za jeho vedení, ochotu a rady při zpracování diplomové práce a jeho otevřený přístup během celé naší spolupráce.

Dík patří celé mé rodině za jejich pomoc a trpělivost při mém dlouhém vzdělávacím procesu.

OBSAH

1	ÚVOD.....	13
2	ŘÍZENÍ LETOVÉHO PROVOZU.....	16
2.1	Historický vývoj až po současnost.....	16
2.2	Dnešní podoba	18
2.2.1	Charakteristika ATC (Air Traffic Control – Řízení Vzdušného Prostoru)	19
2.2.2	Vznik nové domény ATM a nástin procesu plánování letů	19
2.2.3	Rozdělení vzdušného prostoru do tříd.....	20
2.2.4	Filozofie současného systému zajištění separací a jeho nedostatky	21
2.2.5	Provozní popis současného systému	23
2.2.6	Bezpečnostní prvky v současnosti	24
2.3	Shrnutí a první nástin revoluční změny	25
3	FREE FLIGHT KONCEPT - OBECNĚ.....	27
3.1	Důvody a okolnosti vzniku nového konceptu.....	27
3.1.1	Základní filozofie konceptu.....	27
3.1.2	Základní vlastnosti nového konceptu.....	28
3.2	Průběh vývoje nového konceptu a jeho charakteristiky	29
3.2.1	Základní znaky konceptu	29
3.2.2	Klíčové faktory	30
3.2.3	Využití konceptu Free Flight.....	30
3.3	Technická realizovatelnost konceptu	31
3.3.1	První provozní nástin	32
3.3.2	Plynulý přechod k free flight konceptu	33
3.4	Očekávané přínosy obecně	33
3.5	Hlavní nedostatky obecně.....	34
4	KLÍČOVÉ ASPEKTY KONCEPTU FREE FLIGHT SELF-SEPARATION	35
4.1	Ochranné zóny	35
4.2	Definice konfliktu.....	36

4.3	Detekce konfliktu	37
4.3.1	Teoretický nástin problému s „intent“ informacemi.....	37
4.3.2	Radikální přístup „no intent“	39
4.4	Řešení konfliktních situací	41
4.4.1	Prioritní pravidla//kooperativní metoda	42
4.4.2	Implicitní/explicitní koordinace.....	43
4.4.3	Konkrétní metody definující průběh řešení konfliktu.....	44
4.5	ASAS – prevence konfliktu	46
4.6	Optimální řešení CD&R modulu.....	46
4.6.1	Detekce a řešení short-term konfliktů.....	47
4.6.2	Detekce a řešení medium/long term konfliktu	47
4.6.3	Optimální kombinace	47
4.6.4	Způsob určení priority (jsou-li aplikovaná prioritní pravidla).....	49
4.7	Role ATC.....	50
4.8	TCAS v rámci Free Flight.....	51
5	FREE FIGHT AIRBORN SELF-SEPARATION ASSURANCE - PROVOZNÍ KONCEPT.....	52
5.1	Očekávané výhody	52
5.2	Klíčové problémy	54
5.3	Definování prostoru vhodných pro Free Flight	55
5.4	Separation minima ve FFAS	56
5.5	Rules of flight (Air) ve FFAS.....	57
5.5.1	Single-conflict/multi-conflict.....	58
5.6	Role posádky	59
5.7	Role řídicích letového provozu ve FFAS	59
5.8	Přelety ve vzdušném prostoru.....	60
5.8.1	Přelet z MAS do FFAS.....	61
5.8.2	Přechod z FFAS do MAS.....	62
5.8.3	Koordinace s přilehlými ATM oblastmi.....	62
5.9	Kapacita FFAS - dopady na Air Traffic Flow Management (ATFM)	63

5.9.1	Dopady na provozovatele letadel (AOS).....	63
5.9.2	Dopady na vojenský provoz	63
5.10	Plánování a ATFM ve FFAS	63
6	TECHNICKÁ REALIZACE KONCEPTU	65
6.1	Data-linkové technologie.....	65
6.2	Automatic Dependant Surveillance –Broadcast (ADS-B)	66
6.2.1	ADS-B systém	67
6.2.2	ADS-B Out.....	67
6.2.3	ADS-B In	68
7	ADS-B – TECHNICKÉ POŽADAVKY	70
7.1	Palubní vybavení	70
7.1.1	Data-linkové technologie.....	70
7.1.2	Přijímač signálu z GNSS.....	71
7.1.3	CDTI (Cockpit Display Traffic Information)	71
7.1.4	Minimální vybavení pro vstup do FFAS	72
7.2	Pozemní infrastruktura.....	72
7.3	Dosah ADS-B signálu	73
7.4	Současná cena vybavení	73
8	NÁSTIN PROCESU APLIKACE „FREE FLIGHTU“ V EVROPĚ.....	75
8.1	Kapacita systému ASAS	75
8.1.1	Výkonnostní parametry systému ASAS (ADS-B) a jejich vliv na kapacitu	77
8.1.2	Hodnoty výkonnostních parametrů ADS-B	77
8.1.3	Minimální technické požadavky pro přístup do FFAS	78
8.1.4	Nouzové postupy	78
8.2	Verdikt o použitelnosti „Free Flightu“	78
8.3	Specifikace vhodného prostředí pro Free Flight	78
8.3.1	Specifikace prostoru s vhodnou hustotou provozu.....	78
8.3.2	Specifikace vhodného typu provozu.....	79
8.4	Analýza současného vzdušného prostoru centrální Evropy	79

8.5	Postup implementace v konkrétním prostoru	80
8.5.1	Způsoby implementace FFAS do současného MAS prostředí	80
8.5.2	Návrh Free Flight AirSpace (FFAS).....	82
8.5.3	Simulace a zkušební lety	83
8.6	Současný a budoucí stupeň implementace ADS-B technologie ve světě a v Evropě ..	84
8.7	Budoucí použitelnost.....	86
9	ZÁVĚR.....	87
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	89
11	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	91

1 Úvod

Oblast letectví prošla za sto let své existence velice bouřlivým vývojem. Tato práce má za úkol zmapovat a přiblížit čtenáři události, jež ve své podstatě budou dalším evolučním krokem v civilním letectví, zejména v oblasti řízení vzdušného prostoru. Tato evoluce představuje větší, či menší změny na všech úrovních civilního letectví. Dojde při nich ke změnám systémovým, koncepčním i technickým. V podstatě nastane přerod samotného chápání a výkladu slova řízení vzdušného prostoru. S nadsázkou by se dalo říci, že přecházíme k formě neřízení vzdušného prostoru, ve světle současného filozofického výkladu tohoto slova. Ve své podstatě je to jediným logickým vyústěním snahy zasvěcené části lidstva po dokonalosti se blížícímu systému, který v sobě sjednocuje všechny rysy současné a zároveň i budoucí hypermoderní doby.

Zde je nutno zmínit, že koncept Free Flight je sice klíčovou, ale stále jednou z mnoha realizací budoucího ATM prostředí, definované organizací EUROCONTROL v rámci programu SESAR v Evropě či jeho americký protějšek NEXTGEN. Samotný koncept ve spojení s vhodnými technologiemi, má obrovský potenciál nahradit či výrazně pozměnit funkčnost celého budoucího ATM prostředí. Ale jak je známo z letecké praxe, to co by se dalo nazvat požadavky na systém, tedy všechny klíčové aspekty, které ve své konečné podobě definují skutečné vlastnosti systému, jsou zcela závislé na úrovni technologie, která má celý koncept realizovat. Takže i po přibližně 15 letech vývoje tohoto konceptu, pořád existují dva radikálně opačné přístupy k jeho reálné využitelnosti. Jeden skeptický pohled předpokládá výrazně omezené použití pro okrajové oblasti leteckého provozu. Druhý názorový protipól stále pevně věří, že tento koncept je lékem na většinu bolestí současného i budoucího vzdušného prostoru.

Z dlouhodobějšího pohledu si je nutno přiznat, že potřebné technologické úrovně nutné k tomu, aby tento nový koncept ve své „nejradikálnější“ podobě zcela nahradil soudobou filozofii řízení vzdušného provozu, lidé nedosáhli. K rozvinutí plného potenciálu konceptu by bylo nutné změnit technologie nejen na straně řízení letového provozu, ale také v oblasti konstrukce letadel, jenž by musely vykazovat úplně jiné výkonnostní parametry. K takové radikální technické revoluci v oblasti konstrukcí letadel zatím nedošlo. Nicméně, technologie potřebné pro zavedení konceptu v různých provedeních již existují. Nyní probíhá jejich postupná integrace na všech úrovních.

Jde tedy o koncept, který vychází z podobných, avšak odděleně se vyvíjejících programů v Evropě a Americe a zároveň se plně nesoucí v duchu strategií nového Uspořádání řízení vzdušného prostoru Eurocontrolu jako je ATM 2000+ strategy a zejména programu SESAR (Single European Sky ATM Research), uplatňovaných na území Evropy. V těchto programech jde především o to, vytvořit novou architekturu řízení vzdušného prostoru tak, aby byl systém schopný uspokojit budoucí požadavky na kapacitu vzdušného prostoru, bezpečnost a v neposlední řadě i ekonomiku letového provozu. Byl spuštěn roku 2004 a je rozdělen do tří etap. Jeho hlavním cílem je následující:

Do roku 2020 má být dosaženo

- trojnásobné kapacity vzdušného prostoru,
- při desetinásobném vzrůstu bezpečnosti,
- při snížení nákladů za let na polovinu. [16]

Jako klíčové aspekty pro dosažení těchto cílů byly rozpoznány tyto prvky

- Využití nových konceptů jako je Free Flight (zcela či částečně) v řízených i neřízených prostorech, či v nově vzniklých oblastech podle vhodnosti pro jednotlivé oblasti a fáze letu
- co nejvíce využít potenciálu technologií CNS/ATM a výstupů všech programů pro harmonizaci a integraci ATM v lokálním i globálním měřítku.
- Vytěžit maximum ze změny konceptu na každé jeho úrovni a v každém jeho provedení, kdy se všechny jeho prvky podílejí na optimalizaci a efektivitě a plně využívají potenciál dat linkových technologií.

Cílem všech těchto snah je dosažení jednotného vzdušného prostoru nad Evropou (světem), který ve spojení s novým konceptem jako je Free Flight, umožní maximum svobody pohybu pro všechny uživatele vzdušného prostoru, zároveň dojde ke zvětšení kapacity vzdušného prostoru, ke zlepšení ekonomiky letu a s tím spojené výhody pro životní prostředí. Tímto se zcela přibližuje záměrům, souběžně se rozvíjejícím strategiím, organizace jako je ECAC. [16]

Ve výsledku jde o to, vytvořit v Evropě takzvaný „gate to gate“ koncept, kde procesy plánovací, provozní, systém využitelnosti vzdušného prostoru a všechny složky ATM, budou tvořit jednotnou účinnou a pružnou síť podporovanou EUROCONTROLEM, schopnou uspokojit jakékoliv na ní kladené požadavky ze stran veřejnosti a zejména letecké komunity.

Koncept Free Flight bude jednou s realizací, která má umožnit výše vytyčené cíle na kapacitu, bezpečnost a ekonomiku letu v evropském vzdušném prostoru.

V oblasti řízení letového provozu jde zejména o udržování bezpečných vzdáleností mezi letadly, předcházení konfliktních situací a zabránění samotným srážkám při zachování co možná nejoptimálnější letové trajektorie pro všechny účastníky letového provozu. Zjednodušeně lze říci, že to, k čemu v podstatě v průběhu času dojde, je přenesení této zodpovědnosti na palubu letadel, pomocí vhodně navržených, které to umožní. To však klade nebývalé požadavky jak na inovaci samotného konceptu řízení vzdušného prostoru, tak na jeho technickou realizaci samotnou. Jako klíčové faktory pro zavedení nového konceptu se jeví následující:

- Definovat nový provozní koncept, zajistit jeho funkčnost a technickou proveditelnost, specifikovat provozní požadavky a derivovat samotné provozní postupy s ohledem na všechny standardní a zejména nestandardní situace, které mohou nastat, zvážit všechna bezpečnostní rizika ve vzduchu a na zemi
- Rozvinout potřebné technologie nutné k realizaci a provozu Free Flight konceptu, zejména data-linkové technologie a jejich modifikace, jako je systém závislého přehledu ADS.

Jako technologicky klíčový faktor se jeví zejména vývoj systému zajišťující separace mezi letadly ve vzduchu ASAS (Airborn Separation Assurance Systém), který by byl schopen předpovídat v čase všechna nebezpečná sblížení letounů, potenciální konflikty, s předstihem i několik desítek minut a tím zajistit včasné varování posádky, třeba cestou speciální zobrazovací jednotky, popřípadě automaticky provést potřebné postupy. Systém bude velice náročný na výměnu dat a informací digitální data-linkovou cestou, kdy kromě precísní polohy, se bude rovněž přenášet budoucí záměr letadel a další nutné informace. Na těchto technologiích do značné míry závisí rychlost a stupeň přenesení zodpovědnosti z řídicích letového prostoru na posádku.

Pokud se vezme do úvahy současný stav všech plánů na realizaci výše zmíněných cílů v Evropě a předpokládané vysoké investice, jak ve vzduchu, tak na zemi, lze s jistou dávkou idealismu říci, že je tady konečně prostor, přesněji řečeno společný zájem uživatelů vzdušného prostoru a provozovatelů ATS, pro úzkou spolupráci v rozvoji budoucího systému, který bude sloužit všem.

2 ŘÍZENÍ LETOVÉHO PROVOZU

Pro lepší porozumění současného stavu řízení letového provozu je dobré znát ve zkratce jeho historický vývoj, který čtenáři dobře ilustruje celkový obraz o stěžejním a velice výkonném prvku, dohlížejícím bezmála jedno celé století na bezpečí lidí ve vzdušném prostoru.

2.1 Historický vývoj až po současnost

Technický pokrok lidstva, jenž v průběhu 20. století nabýval na intenzitě, vždy velice rychle zasáhl i odvětví civilního letectví do té míry, jak jen do té doby známé bezpečnostní normy dovolovaly.

Zpočátku letectví se zabezpečení letového provozu omezovalo na vizuální prostředky (značky, signály a terče na stanovených místech, praporky, signální rakety atd.) a informace o aktuálním počasí podél trati. Létalo se vždy za viditelnosti země a počasí hrálo rozhodující roli v pravidelnosti a bezpečnosti letu. Ve 30. letech došlo k rozvoji techniky umožňující lety podle přístrojů bez viditelnosti země i za špatného počasí, letadla nabývala na kapacitě, přibýly motory a zvětšil se dolet. S tímto souvisely i první systémy navádění letadel po trati i k letišti bez vizuální reference za nepříznivého počasí. V Evropě byla uplatněna koncepce určování polohy letadla pozemní službou za pomoci středovlnných vysílačů. Byla vybudovaná síť vysílačů spojující letiště, které měly uspokojivě zabezpečit provedení letu i za zhoršených povětrnostních podmínek. Takto v podstatě vznikla první síť letových cest v přímé návaznosti na síť traťových majáků a za hranice letišť rozšířené pole působnosti řídicí služby. Radiotelegrafní korespondence probíhala v takzvaných Q-kódech, kde QDM určoval přiletový magnetický kurz k cíli, QDR odletový směr atd. Pro představu určení polohy touto metodou na trati trvalo řádově 30 vteřin, při přiblížení na přistání 6-10s.

Americká koncepce naopak vyžadovala aktivní navigaci s paluby letadel, kdy za pomoci středovlnných vysílačů vysílající Morse kódy, určovaly smysl svoji odchylky od tratě.

Ruská koncepce byla rovněž založena na aktivní navigaci posádek, používaly se nesměrové majáky a palubní radiokompasy. Dodnes na některých letištích fungují nesměrové majáky NDB pro nepřesná přiblížení.

Z pohledu ATC soudobé systémy neumožňovaly aktivní sledování letadel. Povědomí o situaci ve vzduchu si řídicí mohli udělat z hlášení poloh letadel, které podléhaly procedurálnímu řízení. Piloti se hlásili před a během dosažení určitých bodů a poloh v prostoru tak, aby si řídicí z těchto informací mohli vytvořit a udržet povědomí o situaci v jejich vzdušném prostoru, tzv. situační přehled. Dále se používalo zakreslení do map a grafů (čas a vzdálenost), od kterých se přešlo k proužkům (tzv. stripům), které se v podstatě používají dodnes.

Technický pokrok učiněný během druhé světové války, zejména vynález RADARU a radarové techniky, dal řídicím do ruky skutečný obrázek o aktuálních polohách letadel a celkové situaci ve vzdušném prostoru. Dále byl zaveden prostředek pro přesná přiblížení ILS (Instrument Landing System).

Rovněž v roce 1944 došlo ke vzniku organizace ICAO, která dodnes plní roli nejvyšší autority v letectví a dohlíží na plynulý a hlavně bezpečný rozvoj leteckého průmyslu. Další vývoj byl poháněn zejména úsilím o větší výkonnost ve všech oblastech. Rostla kapacita,

rychlost, dolet letadel, čím dál méně byly lety závislé na počasí. Masivní expanze proudových letadel s rychlostí blížíící se rychlostí zvuku, značně zkomplikovala dění v systémech řízení letového provozu. Došlo ke zpřesnění kategorií pro přesná přiblížení, byl zaveden kombinovaný systém VOR/DME. Došlo k rozvoji radarové techniky tak, aby vyhovovala konkrétním požadavkům pro rozdílná stanoviště ŘLP. Samotná služba ŘLP se vyvíjela paralelně s rozvojem techniky a požadavků na ní kladených.

Došlo k organizačnímu sjednocení a následně uspořádání a členění vzdušného prostoru na letové oblasti, koncové řízené oblasti, řízené okrsky a prostory letišť a síť leteckých navigačních cest a zajištění služby řízení od počátečního do koncového bodu každého řízeného letu. Tomuto odpovídá členění jednotlivých služeb na oblastní řízení letového provozu ACC, přibližovací stanoviště APP a letištní řídicí věž TWR a s tím v případě potřeby spojená pracoviště řízené koncové oblasti TMA. Komunikace probíhá za pomoci letecké frazeologie v pásmu 118 až 137 MHz. Smyslem této organizace bylo zvládnout narůstající hustotu letového provozu. Další dílčí dělení oblastí do ještě více sektorů v případě přeplněných částí vzdušného prostoru a další změny v této koncepci již nepřinášely kýžený efekt. V dalších letech došlo k rozvoji elektroniky, nastala éra integrovaných obvodů a s nimi spojený proces automatizace, který měl řídicím ulehčit jejich práci. Došlo k zavedení tzv. sekundárních radarů poskytujících nové možnosti jako automatická identifikace, určení polohy a výšky. Dále došlo k nasazení zlepšených automatických systému, digitalizace dalších segmentů ŘLP, jejichž smyslem bylo zbavit řídicí rutinních úkolů. V přeplněných oblastech se zavedly nové postupy a začaly se využívat služby domény ATFM, řízení vzdušného toku, jejímž úkolem je zajistit pravidelnost a ekonomičnost letů a maximální propustnost kritických oblastí z pohledu hustoty dopravy. K tomu rovněž přispělo zavedení prostorové navigace RNAV. [12]

Důležitým milníkem je rok 1983, kdy ICAO sestavila výbor FANS, který měl provést analýzu nevyhovujícího stavu přeplněné oblohy v 80. letech. Výsledkem byla souhrnná analýza a návrh řešení tzv. koncepce FANS v zavedení nových systémů a technologií známých pod zkratkou CNS/ATM. Tedy nových systémů pro komunikaci, navigaci, přehled a vznik nové domény ATM.

- ATM (AIR Traffic Management) - uspořádání leteckého provozu s podsložkami
 - ATFM (Air Traffic flow Management) - uspořádání letového toku
 - ASM (AirSpaceManagement) - využití vzdušného prostoru
 - a samotných služeb ATS (Air traffic Services) - služby řízení letového provozu.

Koncepce CNS/ATM vychází jak z již existujících technologií, tak zejména z těch, které jsou ve vývoji a v budoucnu nahradí většinu dnes používaných systémů.

Komunikace: Dojde k omezení hlasové komunikace na nezbytně nutné procedurální minimum. Budoucnost leží v oboustranném datovém toku a to jak cestou družic UKV signálu, či pomoci sekundárních radaru pracujících v modu S.

Navigace: ICAO pracující s novým pojmem RNP, která požaduje definovanou minimální navigační výkonnost v určité oblasti v dané fázi letu za použití jakýchkoliv samostatně či v kombinaci pracujících technologií. ICAO upřednostňuje Globální navigační systémy GNSS a autonomní navigační systémy typu IRS, které po dosažení potřebného stupně integrace v různých modifikacích, v podstatě nahradí všechny existující klasické navigační systémy.

Sledování: Počítá se dál s použitím sekundárních radarů v jejich nejmodernějších verzích. Dále, a to je velmi důležité i z pohledu této práce, se počítá se zavedením systému závislého přehledu, kdy letadla cestou datových spojení budou vysílat svou polohu okolním letadlům a řídicím letového provozu.

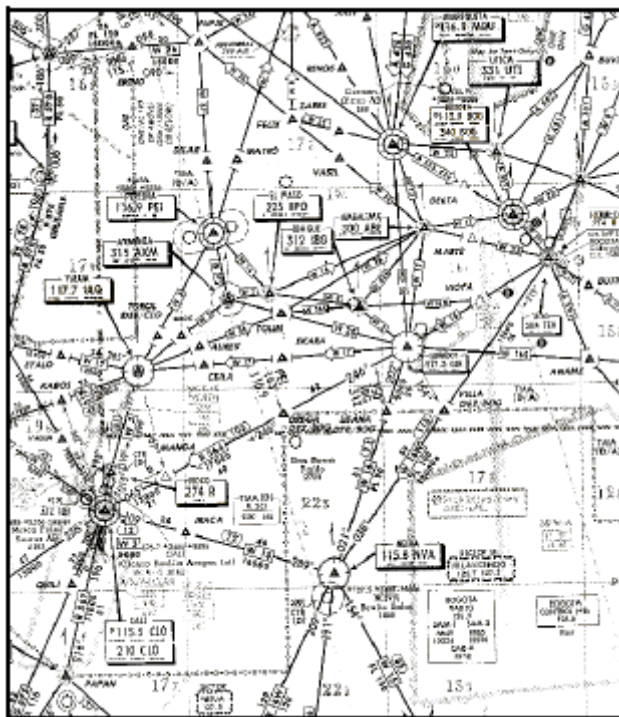
Evropská realizace projektu FANS se nazývá FEATS Future European ATS. Ta rozdělila vývoj do několika etap tak, aby vytvořila základ pro uspořádané zavádění budoucích systému letových provozních služeb v celé oblasti Evropy.

Další organizací je ECAC Evropská konference pro civilní letectví vzniklá v roce 1954. Její viditelný příspěvek z 90 let se týkal procesu harmonizace a integrace. Jednalo se o dosažení porovnatelné úrovně provozních charakteristik a standardizaci všech prvků v celé oblasti. To vyústilo v konkrétní projekt harmonizace a integrace evropských služeb ATC EATCHIP. [12]

2.2 Dnešní podoba

Všechny lety, kromě malých letounů všeobecného letectví (General aviation), letící mimo řízený prostor za specifických podmínek, jsou předmětem řízení letového provozu. Filosofie řízení letového provozu je už po desetiletí postavena na principu

- Strukturalizace a centralizace řízení vzdušného prostoru založeného na použití navigačních prostředků k určování polohy, systému pevných letových tratí (dnes již nikoliv od majáku k majáku) a letových povoleních přicházejících ze země
- rozdělení vzdušného prostoru na sektory tak, aby provoz v sektoru zvládl jeden řídicí
- téměř výhradně použití hlasové komunikace
- radarového přehledu
- zodpovědnosti řídicích za rozestupy mezi letadly



Obr.1 příklad struktury letových cest

2.2.1 Charakteristika ATC (Air Traffic Control – Řízení Vzdušného Prostoru)

ATC je zodpovědné za udržování rozestupů mezi letadly, udržování uspořádaného a ekonomického toku leteckého provozu jak ve vzduchu, tak na zemi, takzvaně „od gejtů ke gejtům (gate to gate)“. Udržování rozestupů znamená vytvořit a udržovat takovou vzdálenost mezi letadly, aby nedošlo k jejich nebezpečnému sblížení, či dokonce kolizím. Srážka je absolutním, nepřipustným extrémem. Samotné nebezpečné sblížení letadel znamená, že systém řízení letového provozu selhal.

Udržování rozestupu je nejdůležitějším, ne však jediným úkolem řízení letového provozu. ATC je součástí Air Traffic Services (ATS), která má jako celek na starost, dle definice organizace ICAO následující:

- zabránit srážkám letadel ve vzduchu a na zemi (ATC)
- ustanovovat a udržovat uspořádaný tok letového provozu (ATC)
- poskytovat informace, které slouží k udržování bezpečného a ekonomického letového provozu (FIS - Flight Information Services)
- poskytovat asistenční a pohotovostní službu pro letadla v nouzi (Alert)

ATC se dále dělí podle zodpovědnosti za jednotlivé fáze letu na:

TWR – letištní věž, zodpovědná za provoz na letišti a v jeho okolí (konečný úsek přiblížení, přistání, pohyb po letišti (někdy samostatná služba GROUND), letová povolení (někdy samostatná služba DELIVERY), vzlet

TMA – zodpovědné za řízení koncové oblasti řízeného prostoru

APP- zodpovědné za přiblížení na přistání

ACC – Oblastní střediska řízení, zodpovědná za letadla v letových hladinách

2.2.2 Vznik nové domény ATM a nástin procesu plánování letů

Aby situace byla z terminologického pohledu ještě méně přehledná, služby ATS tvoří jednu ze tří složek nově vzniklé nad-domény ATM (Air Traffic Management), která v sobě reflektuje kompaktnost a snahu o harmonizaci a integritu v oblasti řízení letového provozu

- ATM (Air Traffic Management) -. Uspořádání leteckého provozu s podsložkami
 - ATFM (Air Traffic Flow Management) - uspořádání letového toku
 - ASM (Air Space Management) - využití vzdušného prostoru
 - ATS (Air traffic Services) - služby řízení letového provozu.

Dnes je let součástí plánovacích procedur několik měsíců před vlastním dnem provedení letu. Let postupuje napříč před-taktickým plánovacím a optimalizačním procesem v duchu zachování bezpečnosti a maximalizace plynulosti, jak jen to do té doby známý budoucí potenciální provoz dovolí. V den provedení letu dojde na vlastní taktickou fázi, kdy zamýšlený let je neustále konfrontován s aktuální situací ve vzdušném prostoru, s aktuálním AUP (Airspace Use Plan) plánem využití vzdušného prostoru. Je plánován a veden tak, aby nedošlo k překročení kapacity sektoru a zároveň bylo dosaženo maximální plynulosti toku letového provozu a flexibilního využití vzdušného prostoru při zachování potřebné míry bezpečnosti. Pokud by mělo dojít k překročení kapacity vzdušného prostoru, dochází k přeplánování letů. Pokud je toto opatření odmítnuto ze strany uživatelů vzdušného prostoru, dochází k přidělování slotů podle předem daných pravidel v duchu transparentnosti a rovnoprávnosti uživatelů. [12]

Typy letů

GAT – lety provedené podle pravidel všeobecného letectví definované organizací ICAO a/nebo definované národními úřady pro civilní letectví.

OAT- všechny ostatní lety, které nejsou GAT a řídí se pravidly jiných autorit (vojenské lety)

Lety mohou být provedeny za podmínek:

IFR-podle pravidel letů podle přístrojů

VFR - za viditelnosti: posádka udržuje vlastní rozestupy od okolního provozu mimo řízené prostory, podmínkou je dobrá viditelnost, jejíž minima jsou přesně specifikována.

Když je let veden podle pravidel IFR provozu, je vždy předmětem řízení letového provozu a jeho let, tedy i jeho letová cesta je nejprve schválena a povolena zodpovědným stanovištěm ATC, poté předána pomocí služby AFTN (Aeronautical Fixed Telecommunication Services) na příslušná stanoviště ATC, jenž budou zodpovědná za jednotlivé fáze letu na definovaných letových cestách. [12]

2.2.3 Rozdělení vzdušného prostoru do tříd

Evropský vzdušný prostor funguje na základech sestavených v 60 letech 20 století. V Evropě funguje 65 oblastních středisek řízení a každý stát má svůj vzdušný prostor rozdělen do tříd podle svého uvážení tak, že výsledná podoba evropského vzdušného prostoru nepůsobí příliš harmonicky a jednotně.

- **Třída A:** pouze lety IFR. ATC zajišťuje všem rozestupy. Všechny lety jsou předmětem letového povolení, je požadováno oboustranné spojení mezi letadlem a ŘLP a podání letového plánu.
- **Třída B:** lety IFR i VFR. ATC zajišťuje všem rozestupy. Všechny lety jsou předmětem letového povolení, je požadováno oboustranné spojení mezi letadlem a ŘLP a podání letového plánu.
- **Třída C:** lety IFR i VFR. ATC zajišťuje rozestupy letům IFR navzájem a letům IFR od VFR. Letům VFR jsou podávány informace o provozu VFR. Všechny lety jsou předmětem letového povolení, je požadováno oboustranné spojení mezi letadlem a ŘLP a podání letového plánu.
- **Třída D:** lety IFR i VFR. ATC zajišťuje rozestupy letům IFR navzájem a informace o letech VFR. Letům VFR jsou podávány informace o provozu. Všechny lety jsou předmětem letového povolení, je požadováno oboustranné spojení mezi letadlem a ATC a podání letového plánu.
- **Třída E:** lety IFR i VFR. ATC zajišťuje rozestupy letům IFR navzájem. Lety IFR jsou předmětem letového povolení, je požadováno oboustranné spojení mezi letadlem a ATC a podání letového plánu. Lety VFR nejsou předmětem letového povolení, není požadováno oboustranné spojení mezi letadlem a stanovištěm ATS. Pokud je to vhodné, jsou veškerému provozu podávány informace o VFR provozu.
- **Třída F:** lety IFR i VFR. Lety IFR ani VFR nejsou předmětem letového povolení a není vyžadováno oboustranné spojení mezi letadly a stanovišti ATS. Pokud je to možné, stanoviště ATS zajišťuje rozestupy letům IFR navzájem.
- **Třída G:** lety IFR i VFR. Lety IFR ani VFR nejsou předmětem letového povolení a není vyžadováno oboustranné spojení mezi letadly a stanovišti ATS. Pokud je to vhodné, jsou poskytovány informace o ostatním provozu.

Prostor tříd A až E je řízený (prostor E je řízený pouze pro lety IFR), F a G neřízený.

Pozn.: Letové povolení je povolení letadlu pokračovat v letu za podmínek stanovených ŘLP. Letový plán se podává před vzletem a obsahuje informace o plánovaném letu, které ŘLP používá pro koordinaci letů.

V Česku se používají čtyři třídy vzdušného prostoru: vrstvy G, E, D a C. [12]

2.2.4 Filozofie současného systému zajištění separací a jeho nedostatky

Hlavním smyslem řízení letového provozu je udržování bezpečných rozestupů mezi letadly. A je to právě tento prvek, který představuje největší slabinu systému z pohledu kapacity a ekonomičnosti letu. Současný systém řízení vzdušného prostoru, zejména jeho hlavní složka, systém zajištění separací mezi letadly ve vzdušném prostoru, již dochází svého uživatelského maxima a jakékoliv dílčí úpravy jednotlivých prvků už nepřinášejí výraznější efekt na systém jako celek. Filozofie současného řízení vzdušného prostoru vznikající na základech starých přes půl století, již není sto naplnit požadavky dnešních a zejména budoucích uživatelů vzdušného prostoru. Je postavena na centralizovaném principu, kde jeden řídící, představující jediný aktivní řídící prvek systému, je zodpovědný za omezený počet letadel v daném prostoru. Omezení je dáno počtem letadel, která je ještě řídící schopen bezpečně zvládnout a neztratit při tom situační přehled o dopravní situaci ve vzduchu či na zemi. Tomu je podřízen každý dílčí prvek systému od strukturalizace toku letecké dopravy systémem pevných letových tratí, přes rozdělení prostoru do sektorů až po způsob vedení radiotelekomunikace mezi pilotem a řídícím. [1], [2]

Zjednodušeně řečeno, díky strukturalizaci letového provozu je možné, že jeden řídící je zodpovědný za udržování rozestupů mezi letadly v celém sektoru. Kapacita sektoru se obvykle pohybuje od 5 do 20 letadel. Řídící je tedy schopen zvládnout jen určitý počet letadel tak, aby si udržel přehled o dění ve vzduchu (situational awareness). Tím představuje konečný limitní prvek systému.

- Limitou tedy není fyzická kapacita samotného vzdušného prostoru, ale kapacita systému zajišťující bezpečné rozestupy (při přistání se limitním faktorem stává kapacita RNW)

Pojďme se na tento systém podívat podrobněji. Zajištění bezpečných rozestupů mezi letadly probíhá jak v horizontální, tak vertikální rovině. U horizontálních rozestupů jde především o vytváření plynulého toku letadel při stoupání na trať, při letu v samotné letové cestě a nakonec při klesání z ní na přistání. V jednotlivých fázích letu se velikost separací liší, někdy je určena časově, jindy vzdálenostně v námořních mílích. V oblastech pokrytých sekundárními přehledovými radary je základním radarovým rozestupem 5 NM, díky nepřesnosti polohové informace z radaru, navíc ještě rostoucí se vzdáleností. Nad oceánem fungují úplně jiná pravidla podobná systému železničních tratí zvané tracks. Letadla jsou vpouštěná na trať v 10 minutových intervalech s šířkou letové cesty 60NM. Důvodem pro takto na rozestupy štedré hodnoty, je nepřesnost navigačního vedení, kdy dochází k integraci navigační chyby uvnitř Inerciálních Navigačních Systému, které nad oceánem tvoří hlavní zdroj navigační informace (přesná poloha určována pomocí GPS není plně spolehlivá z důvodu nedostatečné integrace tohoto systému). V oblastech, kde není radarové pokrytí, se přechází k tzv. procedurálnímu řízení, kdy posádky hlásí ve vhodně definovaných fázích letu své polohy, z nichž si řídící následně utváří virtuální obraz o letovém provozu v jeho zájmovém poli.

- Problémem je, že letové cesty nejsou ideální trajektorií, tzv. nejkratší spojnici dvou bodů na sféře (ortodróma), jakkoliv se v dnešní době prostorové navigace tomuto ideálu blíží, pořád je zde prostor pro rychlejší, ekonomičtější a přímější tratě.
- Změna letové cesty či letové hladiny je jen na vyžádání a jenom tehdy, pokud to počasí a okolní provoz dovoluje.
- Všechny změny vyžadují vyjednávání mezi palubou a zemi, vyjednávání vyžaduje čas a kompromisní rozhodnutí, tudíž není přítomná žádná „prostorová svoboda“, v reálném čase.

K udržení vertikálních rozestupů se používá umístění letadel do letových hladin, což je relativní jednotka. Jedná se vždy o část prostoru v určité tlakové výšce, která se vzhledem ke skutečné výšce může měnit, ale vždy stejně pro všechny uživatele, čímž se zachovávají minimální rozestupy mezi jednotlivými hladinami. V současnosti jsou běžné hodnoty 1000 ft a nad určitou výškou v určitých oblastech 2000ft.

- Problémem je, že letová hladina není po většinu času letu ideální cestovní výška, vztaženo k ekonomice letu. Během letu ubývá množství paliva, tím klesá hmotnost letounu, čímž je letoun schopen letět ve větší výšce, kde je menší aerodynamický odpor a takto letět rychleji a efektivněji. Letadlo by mělo v podstatě pořád plynule stoupat až do určitého bodu, kdy je vhodné zahájit sestup na přistání.

Horizontální rozestupy jsou oproti vertikálním mnohem větší, protože radarová informace o poloze je mnohem méně přesná, než měření výšky aneroidem na palubách letounu a takto získaná informace je sekundárním radarem poslána zpět na zem. Jak bylo zmíněno výše, standardní radarový rozestup je 5 NM, nad oceánem fungují 10 a více minutové rozestupy, při šířce letových cest 60 NM, toto všechno značně snižuje kapacitu vzdušného prostoru.

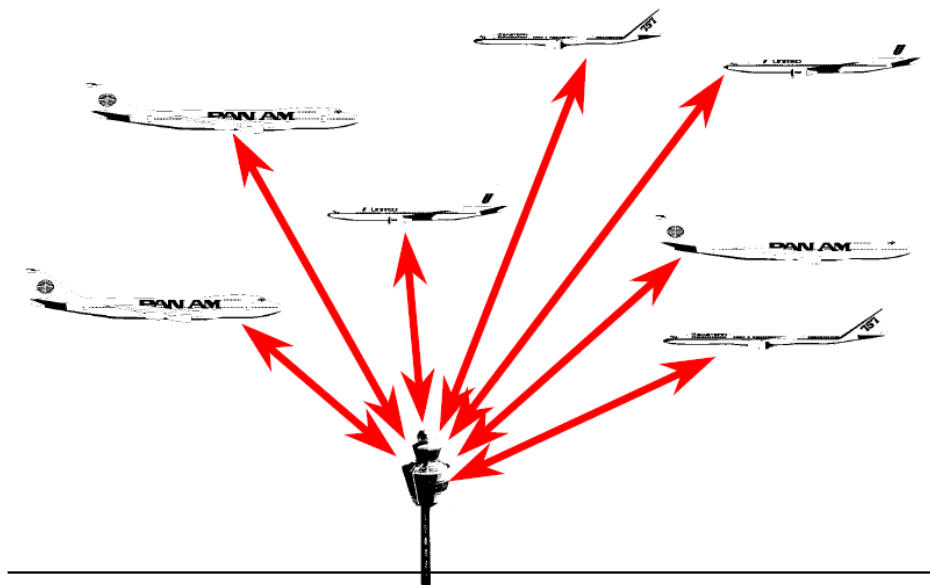
Hlavní úkolem řídicího je zajistit bezpečnost letového provozu, proto dochází k „úzkostlivějšímu“ předcházení jakékoliv složitější situace, v zájmu zachování pracovní zátěže na úkor plynulosti a optimalizaci provozu. Konfliktní situace jsou řešeny dlouho předtím, než jsou „aktuální“. Kdy například lety na dvou totožných tratích jsou vždy, kromě horizontální separace, odděleny od druhého provozu ještě hladinově tak, aby se jimi řídící pokud dojde k neočekávanému zvýšení provozu někde jinde v sektoru, nemusel dále zabývat. Z provedených studií vyplývá, že 75% zpoždění v uplynulých letech bylo způsobeno uplatňováním rozestupů v letových hladinách a ne při řazení se na přistání či k odletu, jak by se dalo očekávat. Navíc závislost nárůstů zpoždění na růstu objemu letecké dopravy se nevyvíjí lineárně. Pouze minoritní růst objemu letecké dopravy vyvolává dramatické zvýšení zpoždění, vzniklých v letových hladinách. Cenou za bezpečnost je snížená kapacita sektoru, díky těmto aplikovaným metodám.

Instrukce vedoucí k uplatnění separací jsou přenášeny hlasovými kanály R/T. Jsou to instrukce týkající se změn kurzu, rychlosti a výšky.

- Hlasový kanál představuje další slabé místo řetězce.

Obecně hlasová komunikace je velice specifická složka jak řízení letového provozu, tak pilotování letadel. Jakkoliv je standardizována a zjednodušena, aby bylo možné co nejpresněji a co nejjednoznačněji popsat jednotlivé situace, stále je to proces přenesený, časově náročný, sloužící v podstatě k přenosu popisu situace jedné strany té druhé. Mnohem snadnější by bylo, kdyby měly obě strany k dispozici jednotný obrázek situace. Takto by se dala omezit hlasová komunikace na nutné procedurální minimum. Nicméně je nutno zvážit fakt, že

hlasová komunikace napomáhá k vytvoření si situačního přehledu jak na straně řídicích, tak na straně pilotů, čímž přispívá k celkové bezpečnosti leteckého provozu. [1], [2]



Obr.2 Současný centralizovaný systém řízení letového provozu [1]

2.2.5 Provozní popis současného systému

Dnes pilot v podstatě neurčuje trajektorii letu, pouze následuje letovou cestu, předem schválenou ze strany ATC. Řídící rovněž schvaluje a někdy i sám volí (vždy v zájmu zachování rozestupů mezi letadly) rychlost a výšku, ve které letoun bude prolétat danou trať. Tato trajektorie je zadána do FMS (Flight Management System), který optimalizuje všechny přípustné prvky trajektorie. Tento systém je napojen na Autopilota a Autothrottle (systém automatického tahu motoru). FMS v sobě sjednocuje veškeré systémy a podsystémy letounu. Ve své nejpokročilejší úrovni je autopilot rozdělen do dvou modů LNAV (Lateral Navigation) a VNAV (Vertical Navigation). LNAV zajišťuje, že letoun bude prolétat nad body trajektorie zadané do FMS s nejvyšší možnou dosažitelnou navigační přesností. To samé platí ve vertikální rovině VNAV, kdy je pomocí FMS kontrolována výška, rychlost, vertikální rychlost a další nezbytné veličiny tak, aby letoun prolétal prostor výkonnostně a časově optimálním způsobem. LNAV se zapojuje krátce po vzletu, VNAV standardně takřka vzápětí. Běžně okruhy autopilota zůstávají zapojeny po celou dobu letu, až do fáze přiblížení na přistání a přistání samotného. Přiblížení i přistání lze rovněž, pokud to okolnosti umožňují, provést plně automaticky (automatické přiblížení až do výšky rozhodnutí je běžnější, automatické přistání, neboli Autoland, vyžaduje přesnější navigační vedení, zajištěné jak pokročilejším vybavením letounu, tak úrovní pozemních instalací a dalšími specifickými požadavky, týkající se operací za snížené viditelnosti LVP (Low visibility procedure).

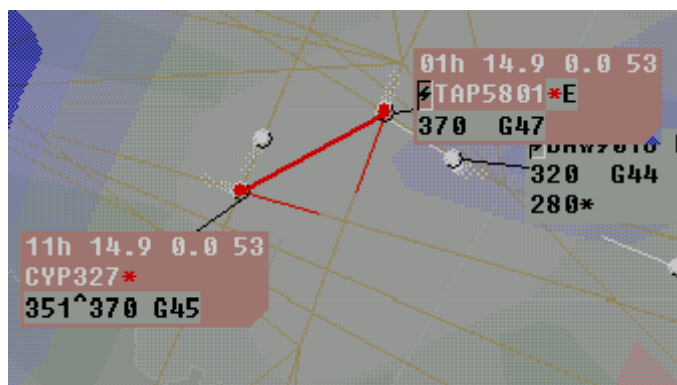
Trať uložená ve FMS je zároveň zobrazována na navigačním displeji, takto může posádka letět trať za použití základnějších úrovní autopilota jako Heading Select a Altitude Select či FD (Flight Director). Tyto módy jsou používány například pro krátké odchýlení se od trati během letu např. z důvodu vyhnutí se provozu, či následování radarového vektorování.

Manuální řízení se používá při startu a většinou při přiblížení a přistání. V tomto případě je autopilot i autothrottle odpojen. Autopilot a autothrottle mají několik režimů. Je možno letět manuálně se zapojením jen určitých prvků, kdy autopilot dohlíží jen na některou z navigačních veličin. Jde o velice flexibilní a komplexní nástroj současných letadel.

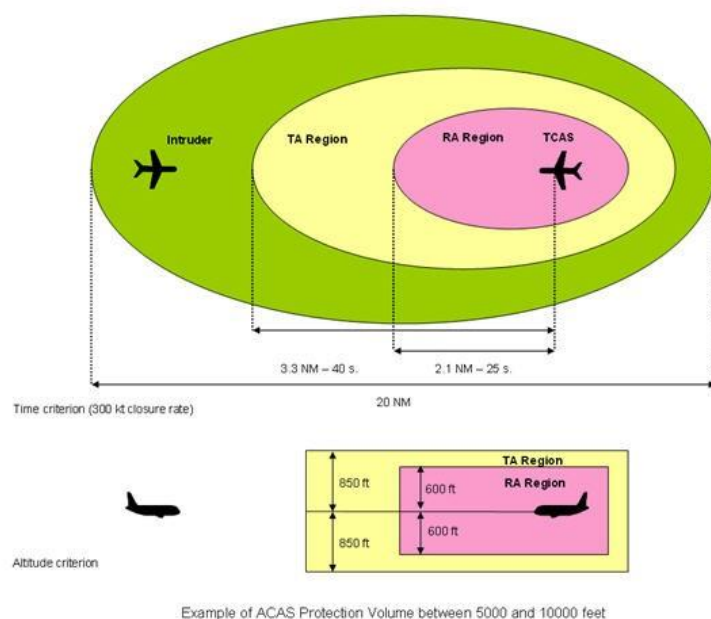
Ze země je provoz nepřetržitě monitorován radary, kromě oblastí mimo radarové pokrytí v méně rozvinutých oblastech, či nad oceány. Jakkoliv i v těchto oblastech letadla zůstávají předmětem řízení letového provozu, využívající procedurálního řízení se systémem hlášení poloh. Radar určuje polohu letadel při každé otáčce. Rychlost otáčení se mění v závislosti na dosahu radaru. Takto dochází k určení laterální polohy letounu nezávisle na palubních navigačních systémech. Toto platí o primárních radarech fungujících na původním principu odrazu signálu od cíle, který s námi nespolečně pracuje. Ve sférách civilních došlo k vývoji závislého přehledu ve formě sekundárních radarů aktivně spolupracujících s pozemním zařízením. Takto bylo možno zvětšit dosah a přesnost radarů a zároveň je touto cestou vysíláno identifikační číslo letu „squaq“ a údaj o výšce, měřené relativně velmi přesně na palubách letounů, na kterém jsou založeny vertikální rozestupy. Všechny tyto data jsou přijaty na zemi a zpracovány programem zvaný „tracker“. Ten kombinuje a integruje data z několika zdrojů podle jejich vhodnosti a zobrazuje výsledný obraz řídicím letového provozu. [1]

2.2.6 Bezpečnostní prvky v současnosti

Pokud řídicí selže v zajišťování separací nebo pilot, či autopilot správně nenásleduje postupy či příkazy řídicího, je k dispozici nástroj STCA (Short Term Conflict Alert), který řídicího upozorní 5 minut před případným nebezpečným sblížením provozu. Pokud i toto selže je k dispozici „nezávislý“, nástroj na palubách letadel. Systém ACAS a jeho realizace TCAS fungující na platformě sekundárních přehledových radarů, představující poslední bezpečnostní prvek v řetězci. V případě konfliktního provozu je spuštěno varování 45s před předpokládaným konfliktem (Traffic Advisory), pokud i nadále letadla pokračují konfliktním kurzem, je 25s před kolizí vydán vizuální a zvukový příkaz k vyhnutí se provozu (Resolution Advisory). Tento pokyn je nadřazený případným nevhodným zásahům ze strany ATC, přicházející ve stejný moment. U současné generace TCAS II je pouze v podobě příkazu klesat/stoupat v závislosti na systémové domluvě s konfliktním provozem a situační vhodnosti příslušných manévru. Kromě systému varující před kolizí s jinými letadly mají řídicí k dispozici další nástroje, jako je systém upozorňující na proklesání minimální bezpečné výšky Minimum Safe Altitude Warning (MSAW). [1]



Obr.3 příklad STCA (Short Term Conflict Alert)

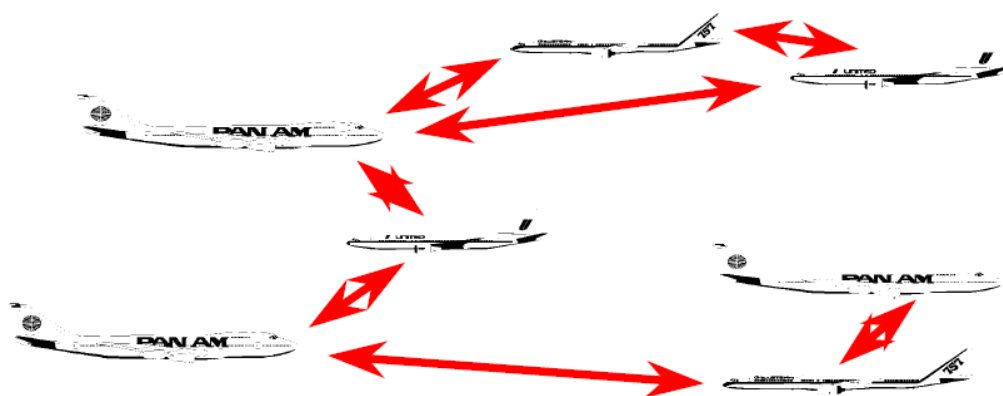


Obr.4 schéma systému TCAS

2.3 Shrnutí a první nástin revoluční změny

Jak vyplývá z předchozích řádků, dnešní ATM koncept není nejideálnější způsob letu letadla z jednoho místa na druhé. Pouze ve výjimečných případech, kdy to provoz a počasí dovolí je letadlům umožněno letět ideálnější trajektorií. Předpokládejme, že posádka by byla schopna zajistit si v jakémkoliv bodě rozestupy od okolního provozu sama, nemusela by využívat žádný z prvků soudobého řízení letového provozu, zejména systém pevných letových tratí, který slouží více než potřebám pilotům, potřebám řídicím letového provozu. Takto by bylo možné létat optimální trajektorií neustále. Každý prvek systému (letadla) by byl schopen zajistit a optimalizovat vlastní trajektorii a takto aktivně přispívat k celkové kapacitě a účinnosti systému. Decentralizované systémy, kde se každý prvek snaží o vlastní optimalizaci, mají obecně mnohem větší celkovou efektivitu, jakkoliv se to na první pohled nemusí jevit zcela zjevné. Lze to, s jistou mírou nadsázky, ilustrovat na příkladu centralizovaně řízené ekonomiky v komunistických zemích a více méně decentralizovaně kontrolované ekonomiky zemích kapitalistických. Jak víme, historie dala jednoznačně zapravdu druhé variantě. Takzvaná vlastní optimalizace (self-optimisation) se tedy jeví jako optimálnější řešení, samozřejmě při zachování, či dokonce zvýšení míry bezpečnosti, avšak očividně s více chaotickým rozložením prvku (letadel) v prostoru. Toto byla základní myšlenka na počátku vzniku konceptu Free Flight. [1]

Efekt přesunu zodpovědnosti za udržování rozestupů na palubu letadel je dramatictější záležitost, než by se na první pohled mohlo zdát. Jde o radikální změnu v celé struktuře řízení letového provozu. Z centrálně řízeného a optimalizovaného systému se stane distributivní systém s interně spolupracujícími prvky, které se optimalizují na lokální úrovni. Na druhou stranu je nutno zajistit, aby nestabilita a možný chaos nevedl ke katastrofickým scénářům uvnitř distribuovaných systémů. [1]



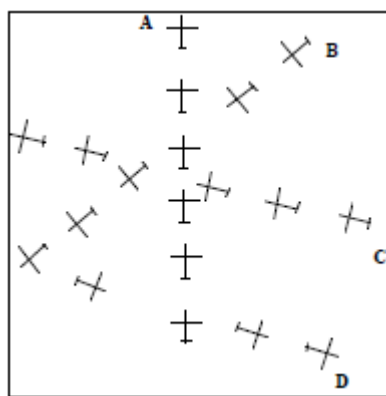
Obr. 5 distribuovaný systém řízení

3 Free Flight koncept - obecně

3.1 Důvody a okolnosti vzniku nového konceptu

Rostoucí hustota leteckého provozu a s ním spojené větší požadavky na současné prostředí letového provozu, vedly v posledních letech k mnohem většímu využívání letišť a letových tratí. Naneštěstí bez odpovídajícího zvýšení jejich kapacity. Výsledkem tohoto fenoménu jsou rostoucí zpoždění na odletech, fronty při řazení se na přistání a různé kompromisní procedury za strany ATC směrem k větší ekonomičnosti letu, limitované zachováním míry bezpečnosti, vyžadované organizací ICAO. Ceny za tyto zpoždění jsou neúměrně vysoké a s předpovědí růstu objemu leteckého provozu, by výsledkem byly ještě větší zpoždění a s tím spojené ještě více rostoucí náklady.

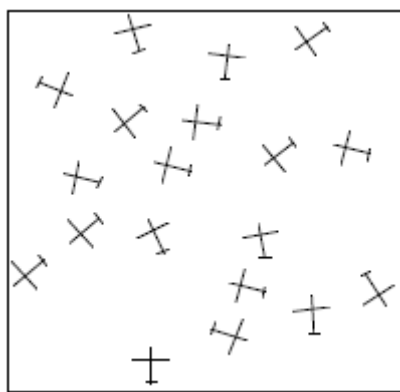
Cílem ATC je zajistit, aby letadla odlétala a přistávala na čas a pokud to situace dovolí, létala ekonomicky optimálnější trajektorií, se zachováním maximální úrovně bezpečnosti. Dnes se tohoto cíle dosahuje pomocí strukturalizovaného, centralizovaného řízení letového provozu. Řídící letového provozu představuje jediný aktivní prvek, letadla jsou pasivní součástí systému, čímž logicky dochází k tomu, že s růstem počtu letadel v určitém prostoru, nedochází k růstu kapacity, ale naopak k jejímu poklesu až k limitní hodnotě. V praxi jsou letadla v určitých intervalech umístěna do letových cest a hladin a takto jsou od sebe separována. Provoz je řízen za pomoci radarů a procedurální hlasové komunikace se systémem hlášení poloh a vydávání tzv. mezí povolení. Na to vše je dohlíženo použitím sítě většinou sekundárních přehledových radarů s několikanásobnou zdrojovou informací. A zejména zde, na nových technologiích a systémech CNS se ukazuje, že zastaralý koncept řízení již není schopen plně využít potenciál těchto technologií. Změna ATM prostředí je rovněž nevyhnutelná z pohledu plnění programu SESAR a jeho požadavků na zvýšení kapacity, bezpečnosti a ekonomiky letového provozu nad Evropou. [1], [2], [15]



Obr.6 letadla seřazená do letových cest [1]

3.1.1 Základní filozofie konceptu

Koncept Free Flight byl tedy navržen tak, aby překonal současný rigidní, centralizovaný a strukturalizovaný vzdušný prostor s pevnými letovými cestami tím, že letadla budou mít k dispozici prostředky k zajištění vlastních rozestupů od okolního provozu, čímž letadlům v procesu zajištění separací namísto role pasivní, přičkne roli aktivní. Takto umožní pilotům s odpovídajícím vybavením letět preferovanou trajektorií v optimální letové hladině a hlavně s bezpečnými rozestupy mezi letadly, za které je v konečné fázi realizace konceptu, zvaného Free Flight Self-Separation, zodpovědná posádka.



Obr. 7 letadla v prostoru Free Flight [1]

Z předchozího odstavce vyplývá, že s růstem letadel v prostoru nedochází k poklesu kapacity systému. Z pohledu systému zajištění separací, každý přibývší letoun sebou nese vlastní kapacitu k udržení rozestupů od okolního provozu, čímž teoreticky vzniká systém, který má neomezenou kapacitu a již nadále nepředstavuje limitní prvek celkové soustavy (kapacity vzdušného prostoru). Tou se nyní stává samotná reálná fyzická kapacita prostoru. Zjednodušeně řečeno, limitní je už nadále jen to, kolik letounu se skutečně fyzicky vejde do určitého prostoru a ne to, kolik letadel zvládne řídicí vyseparovat. Samozřejmě s podmínkou, aby byla zachována potřebná prostorová manévrovatelnost.

Takto to samozřejmě funguje na poli teoretickém, v praxi i nadále bude konečným prvkem systém zajištění separací, protože samotná technická realizace konceptu je podřízena fyzikálním zákonům a technologie umožňující koncept Free flight mají omezenou kapacitu. V tomto případě jde především o kapacitu týkající se datového toku (objemu přenášených dat), potřebných pro správný provoz systému.

Zjednodušeně se na koncept Free Flight rovněž můžeme dívat jako na prostředek, který umožní provedení bezpečných a ekonomických letů za podmínek IFR, kde operátor má volnost ve volbě trati a rychlostí v reálném čase.

Takový krok ovšem vyžaduje významné změny v soudobém ATM konceptu, v jeho technologiích, organizaci a metodách.

Otázkou rovněž je, zda nevyužít systému jen z části a výhody ve formě přesné polohové informace o provozu, například ze systému ADS-B, poskytnout opět řídicím, kteří budou dále zodpovědní za rozestupy, které díky přesně určené poloze letadel, budou moci být nižší. Řídicí, jakožto vysoce specializovaní jedinci zaměřeni jen na tento prvek, budou pravděpodobně efektivnější než piloti, kteří se musí zároveň věnovat řízení letounu. Efektivnější i za předpokladu de-strukturalizace prostoru (odstranění letových cest). Jak uvidíme později, koncept Free Route je právě takovou realizací, podobně jako jedna z variant systému závislého přehledu ADS-C rovněž pracují s touto myšlenkou. [1], [2], [15]

3.1.2 Základní vlastnosti nového konceptu

Ze strany letecké komunity tedy existuje silná potřeba po systému s větší kapacitou vzdušného prostoru a s výrazně vyšší ekonomičností letů. Dále se schopností čelit předpovídanému růstu hustoty letového provozu v budoucnosti, systému maximálně integrovaném, jednotném a spolupracujícím s uživateli, systém, který více využije potenciál letadel a nabídne jim mnohem větší flexibilitu.

Základními rysy nového konceptu je volnost ve volbě tratí v aktuálním čase, doprovázená postupným přesunutím zodpovědnosti za bezpečné rozestupy z řídicích letového provozu na palubu letadel. Pro tyto účely bude vytvořen vhodný vzdušný prostor „Free Flight Airspace“, (FFAS), kde budou letadla létat s mnohem nižší spotřebou paliva, pro ně optimálními trajektoriemi a budou se schopny samy separovat od ostatního provozu.

Následkem přesunu zodpovědnosti za rozestupy na palubu letadel, přibude posádkám další povinnost, která nesmí výrazně zvýšit jejich zatížení. Takto dojde k jistému vývoji rolí pilotů a posunu ve vztazích posádka/řídicí a posádka/posádka okolních letadel. [1], [2], [15]

3.2 Průběh vývoje nového konceptu a jeho charakteristiky

Na počátku byly požadavky na zvětšení kapacity, bezpečnosti vzdušného prostoru a ekonomičnosti letu ze strany uživatelů vzdušného prostoru. Po sérii studií bylo jasné, že samotné programy evropských agentur týkající se harmonizace, integrace a automatizace uspořádání letového prostoru nestačí. Nadešel čas změnit krok po kroku samotnou filozofii systému řízení vzdušného prostoru. Vhodným kandidátem se stal projekt Free Flight ve spojení s nově vznikajícími technologiemi CNS, jehož počátky jsou spojeny s programem vesmírné agentury NASA, konkrétně programem zvaným Advanced Air Transport Technology.

3.2.1 Základní znaky konceptu

Prvním krokem bylo navržení filozofie, struktury, základních principů nového prostředí a základních pravidel, jak bude celý koncept fungovat.

Základní filozofie:

- De-strukturalizovaný a de-centralizovaný systém, kde letadla tvoří aktivní součást systému zajištění rozestupů
- Let letounu po libovolné optimální trajektorii s nutností dočasně se odklonit jen v případě vyhnutí se jinému provozu
- Systém založený na přesné znalosti poloh letadel a jejich záměrech
- Přesun zodpovědnosti za rozestupy na palubu letadel (od částečného až po úplný přesun zodpovědnosti u aplikace Free Flight Self-Separation)
- Separace letadel od ostatního provozu (manuálně, za pomoci rozhraní, automaticky) na základě znalostí poloh a záměrů okolních letadel, za pomoci sofistikovaného systému ASAS (Airborn Separation Assurance System)
- Dochází k separacím v „aktuálním“ čase, již není nutné provoz strukturalizovat
- Dosažení možnosti volby libovolných tratí v aktuálním čase (většinově kopírující optimální trajektorii)
- větší kapacity vzdušného prostoru, díky větší využitelnosti prostoru.
- Velké provozní úspory plynoucí s použitím optimálních letových trajektorií a optimálních cestovních hladin

Promítnutím nového konceptu do existujícího prostředí došlo k identifikaci dopadů na současné prostředí a odvození provozních a následně technických požadavků nutných k vytvoření nového konceptu.

Free flight koncept je založen na nestrukturalizovaném prostoru, decentralizovaném systému zajištění rozestupů a s odpovědností posádky za ně, volbě vlastní optimální letové trajektorie a udržování samo-separací ve známém prostředí. Přímým důsledkem je potřeba k zavedení

nových režimů a pravidel létání. Fundamentální změnou bude přechod od dvou současných fixních režimů řízení (řízené a neřízené prostory), uplatňovaných ve vzdušném prostoru, k pružnějšímu vzdušnému managementu s různorodými oblastmi s rozdílnými režimy a pravidly. Toto nové provozní prostředí bude definováno a technicky vytvořeno jako dynamický prostor se schopností řešit veškeré potencionální úkoly na ně kladené.

Technicky bude celé prostředí vystavěno na technologiích CNS splňující specifické spektrum požadavků nového konceptu, týkající se funkčnosti, integrovanosti i harmonizace. Klíčovým faktorem bude systém zajištění separací a s ním spojený systém datového přenosu, které budou tvořit pilíře technické realizace Free Flight prostředí. Nástin i detailní rozbor technické realizace konceptu bude proveden později.

3.2.2 Klíčové faktory

K zjištění provozních dopadů konceptu na budoucí ATM prostředí a následně k ověření jeho technické realizovatelnosti, bylo třeba provést simulace v rámci zkušebních programů (Středozevní moře, Švédsko, Mexický záliv atd.) a specifikovat klíčové faktory jako

- role člověka v FF konceptu a nalezení optimální rovnováhy automatizace/člověk
- samotná realizace systému ASAS a systému zpracování a výměny dat
- použití prioritních pravidel a koordinace
- určit druh a zdroj dat, šířící informace o zamýšlené trati letadel
- určit vhodný stupeň delegace zodpovědnosti za rozestupy na palubu letadel pro jednotlivé aplikace a fáze letu
- detailní návrh provozního konceptu a provozních procedur
- vliv změny zodpovědnosti za rozestupy na pilota/řídícího
- změny v pravidlech létání
- role ACAS, TCAS systému v novém konceptu
- určit velikost nové kapacity vzdušného prostoru, atd.
- vypracovat a zajistit technickou realizovatelnost konceptu

Změny budou mít dopad na většinu existujících současných systémů směrem k úrovni CNS a takto zlepši koordinaci a interakci mezi piloty a řidiči.

Největší změnou však bude přenos odpovědnosti za udržování bezpečných rozestupů na palubu letadel. To bude vyžadovat adekvátní technický palubní systém k vysílání a přijímání potřebných informací (identifikace, poloha, rychlost, záměr atd.), aby pilot měl přesné povědomí o tom co se děje v okolí jeho letadla.

3.2.3 Využití konceptu Free Flight

Nakonec vzniklo pět konkrétních Free Flight aplikací, lišící se stupněm volnosti při volbě trati, mírou delegace zodpovědnosti za rozestupy na palubu letadel a s tím spojenou mírou autonomie či nezávislosti letadel na ATS. Samozřejmě jednotlivé aplikace jsou rovněž určeny a optimalizovány pro různá prostředí a vhodné pro odlišné fáze letu. První aplikace je spíše samostatný koncept a nese název Free Routes. S konceptem free flight ji spojuje zejména možnost volby optimální trajektorie, ale využívá jiný, vlastní typ prostoru tzv. FRA (Free Routes Airspace) se specifickými vlastnostmi a pravidly. Další aplikací je ATSAW. Tato aplikace je v podstatě přechodem od prostoru FRA k prostoru FFAS (Free Flight Airspace) a nenese jednoznačné rysy ani jednoho z nich. Proto její reálná využitelnost pro pokročilou investigaci je minimální a nebyla ji v dosud prováděných programech věnována velká pozornost. Dalšími aplikacemi jsou již aplikace typu ASAS spacing, separation a self

separation, jenž plně spadají do rámce konceptu Free flight, lišící se mírou delegace zodpovědnosti za rozestupy a stupněm autonomy v prostředí FFAS.

Pro každý koncept musely být zvlášť definovány provozní požadavky a postupy pro všechny standardní i nestandardní situace, které mohou ve vzduchu i na zemi nastat. Byly definovány provozní postupy pro posádku a pracovníky ATM a všechny ostatní potřebné specifikace. [1], [2], [5], [8]

PĚT ZÁKLADNÍCH APLIKACÍ FREE FLIGHT

Free Route koncept

Jde v podstatě o samostatný koncept, kde řídící dále plně zodpovídají za bezpečné rozestupy mezi letadly, ale uživatelé vzdušného prostoru mají svobodu ve volbě vlastní optimální trajektorie v prostoru k tomu účelu určeném

ATSAW Airborne Traffic Situational Awareness

Použití systému ASAS je zaměřeno na vylepšení situačního přehledu posádky o provozu ve vzduchu či na ploše letiště a takto zlepšit rozhodovací proces týkající se bezpečnostního i ekonomického managementu jejich letů. Žádné změny v zodpovědnosti za rozestupy. Řídící letového provozu je zodpovědný za rozestupy, jako v dnešním ATM prostředí.

ASAS Spacing Airborne Spacing

Tato aplikace vyžaduje od posádky vhodně vybaveného letadla, aby dosáhla a udržovala rozestupy od okolních letadel specifikované v nových ATC instrukcích. To znamená, že posádce přibude nový úkol, čímž ulehčí zatížení řídících, kteří budou moci zvládnout více letadel v sektorech. Konečnou zodpovědnost za separaci má stále řídící letového provozu.

Airborne Separation

V této aplikaci je již zodpovědnost za rozestupy mezi letadly přenesena na posádku letadel, která zajistí minimální rozestupy. Přenos zodpovědnosti je limitován daným typem letadla, separace jsou specifikovány novými ATC povoleními. Ale stále ve speciálních případech je zodpovědnost za rozestupy na řídícím letového provozu.

Airborne Self-separation (předmět diplomové práce)

Zde již aplikace pracuje s tím, že pilot je plně zodpovědný za to, aby bylo dosaženo potřebných rozestupů podle nových a platných pravidel létání za pomoci nástrojů k tomu účelu vytvořených. Plná zodpovědnost posádky za rozestupy plus všechny výhody Free Flight prostředí, zejména přímé tratě. Jelikož zadání diplomové práce se týká zejména tohoto konceptu, bude této aplikaci věnován největší prostor. [2]

3.3 Technická realizovatelnost konceptu

Dalším krokem směrem k realizovatelnosti projektu je zhodnocení jeho technické proveditelnosti skrze již existující nebo v blízké budoucnosti dostupné technologie. Jako klíčový systém splňující požadavky a zejména disponující schopností většinově pokrýt potřeby nového konceptu Free Flight, byl rozpoznán systém automatického závislého přehledu ADS-B (automatic dependent surveillance – broadcast). Filosofie systému je založena na faktu, že samotná letadla jsou díky sofistikovaným navigačním systémům (GNSS, IRS v kombinaci s klasickými navigačními systémy ILS, DME/DME, VOR/DME, MLS, DOPPLER, atd.) schopny určit svoji pozici v prostoru daleko přesněji, než řídící

letového provozu (dosud zodpovědní za rozestupy), zejména se jedná o horizontální složku polohy (v současnosti radarem měřenou relativně velmi nepřesně -> důvod tak velkých horizontálních rozestupů). Takto určená poloha bude vysílána okolním letadlům, která budou rovněž vysílat svoji polohu do okolí. Výsledkem bude přesné zobrazení dopravní situace s předpovědí úmyslu jednotlivých letadel v průběhu následujícího času. Systém ADS-B je přibližně na vzdálenost 40NM 200krát přesnější než RADAR. Piloti budou mít k dispozici podobný pohled na letecký provoz v jejich zájmovém okolí, jako mají řídící letového provozu nyní, akorát mnohem přesnější. Detailnějšímu rozboru technické realizace konceptu Free Flight se budeme věnovat později. [1], [2], [3], [4]

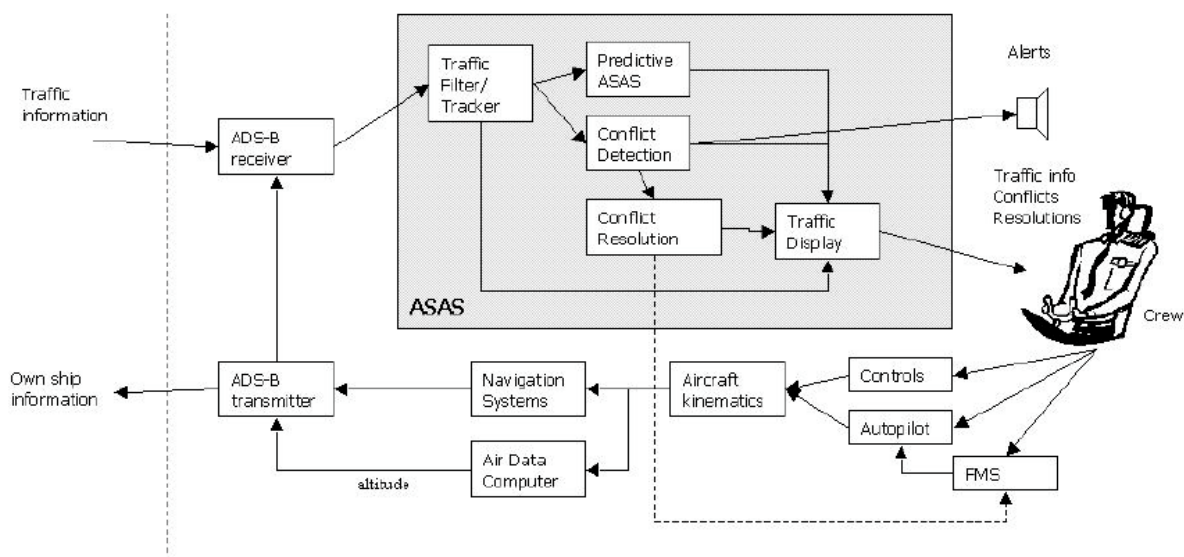
3.3.1 První provozní nástin

V rámci Free Flight konceptu není nadále nutné poskytovat řídícímu uspořádané provozní struktury (letové cesty) k zajištění jeho situačního přehledu. Všechny ostatní informace týkající se provozu, dříve přicházející cestou ATC, jsou přenášeny přímo posádce, včetně provozních varování týkajícího se konfliktního provozu. Pilot samotný primárně nepotřebuje uspořádání letadel do letových cest, pokud je v každém bodě zjištěno zachování bezpečných rozestupů jeho letounu od okolního provozu. To v podstatě umožňuje letět libovolnou, nejlépe optimální trajektorií.

Za těchto podmínek, trať uložená do systému FMS, bude přímější, blíží se ortodromě (velká kružnice - nejkratší spojnici dvou bodů na sféře) a bude se skládat z méně částí. Samozřejmě v závislosti na počasí na trati a aktivitách ve vyhrazených prostorech. Teoreticky by se mohla skládat jen z jedné části Velké kružnice spojující vstupní a výstupní body Free Flight prostoru. Letadla budou i nadále se vši pravděpodobností využívat VNAV a LNAV modu k prolétnutí této trati. Letadla budou průběžně stoupat k optimalizování spotřeby paliva a výkonu (na rozdíl od dnes používaných nespojitých „skoků“ v letové hladině – kvůli zachování rozestupů). Jak vertikálně tak horizontálně bude let mnohem plynulejší.

Pozice určená navigačními systémy letounu je vysílána ADS-B do okolí a to v rozmezí od 80NM do 200 NM, maximální dosah je limitován nejen výkonem vysílače, ale také tím, že vysílač a přijímač musí být v rovině přímé viditelnosti, což je omezení platící pro všechna zařízení pracující s přímou elektromagnetickou vlnou tj. od VHF pásma výše. Spolu s polohou jsou vysílány další informace, jako je identifikace, rychlost či pokud to je vhodné, informace o zamýšlené trati. Tyto informace se aktualizují v rozmezí od 1krat/1s až po 25krát/1s, v závislosti na druhu ADS-B a vzdálenosti. Tyto data jsou dále zpracovány, filtrovány a vyhodnocovány vnitřními systémy (podobné trackeru u radaru) a zobrazeny pilotu na displeji zvaném Traffic display, se vši pravděpodobností, sjednoceného s navigačním displejem. Tento tracker bude součástí systému ASAS a bude obsahovat funkci Conflict detection (detekce konfliktů) a Conflict resolution (řešení konfliktů). Podobně jako je systém STCA u řídících letového provozu. [1]

Systém detekce konfliktů bude neustále předvídat budoucí trajektorii všech letounu v čase, zpracováním obdržených dat o jejich poloze, rychlosti, identifikaci a pokud je to vhodné, informace o zamýšlené trati. Pokud detekuje potenciální budoucí ztrátu minimálních bezpečných rozestupů neboli konflikt, vyšle varování posádce v příslušné formě (zvuková, zobrazení na displeji atd.).



Obr.8 funkční schéma Free Flight konceptu [2]

Pokud je v systému ASAS přítomný systém detekce a řešení konfliktu, podsystémy mohou vypočítat nejvhodnější trajektorie k vyhnutí se provozu a nabídnout přes FMS tyto varianty posádce. Ta si vybere nejvhodnější variantu. Jelikož je systém napojen na FMS může být napojen i na okruhy autopilota a ten při nepřítomnosti odezvy ze strany pilotů, vybere a provede nejvhodnější manévr automaticky a vyřeší konfliktní situaci. Za výhodné se jeví rovněž zachování systému TCAS jako nezávislou bezpečnostní zálohu. Zde je nutné vzít do úvahy, který z těchto dvou systémů bude brát FMS za nadřazenou variantu zejména v extrémních situacích tak, aby posádce či autopilotu nepřicházely protichůdné varianty řešení ve vypjatých momentech. Zachování hlasové komunikace R/T je účelem podobné, jako zachování systému TCAS, tedy jako nezávislá bezpečnostní síť, umožňující posádce oznámení o poruchách či jejich poloze ostatním letounům.

3.3.2 Plynulý přechod k free flight konceptu

Jedním z klíčových faktorů z hlediska takticko-provozního je detailně naplánovat a specifikovat jednotlivé etapy přechodu od současného způsobu řízení vzdušného prostoru k metodě free flight tak, aby přechod byl plynulý a adaptibilní k reálným okolnostem v daném čase. Jak budou postupně přibývat prostory fungující pod novým konceptem, tak se vhodně vycvičení řidiči budou více a více ztotožňovat s novou, spíše managerskou rolí, konceptem jim přiřknutou. Celý systém se bude více a více automatizovat a člověku bude svěřena v podstatě role záložní.

3.4 Očekávané přínosy obecně

Free flight představuje úplně nový koncept, který mění systém řízení letového provozu téměř od základu a nabízí obrovský potenciál výhod pro jeho uživatele. Vyjdeme s požadavku programu SESAR, v němž se koncept Free Flight stává hlavním realizátorem vytýčených cílů na vzrůst kapacity, bezpečnosti a poklesu provozních nákladů na let.

Prímým důsledkem zavedení konceptu Free Flight je využití celého vzdušného prostoru, v němž uživatel už není déle vázán na systém letových tratí a na omezený počet letadel, které je řídicí schopen v určitém prostoru zvládnout. Vzrůst kapacity vzdušného prostoru je tedy

umožněn díky zavedení systému ASAS, v němž letadla představují aktivní prvky, které jsou si schopny zajistit rozestupy od okolního provozu samy v celém prostoru tak, že ve výsledku mohou využívat vlastních optimálních tratí v celém, k tomu účelu vytčeném, prostoru.

Systém ve své realizované podobě mění zásadním způsobem atributy řízení letového provozu a navíc zpřesňuje situační přehled řídících i pilotů, celý proces letu je více interaktivní, jak v procesu plánovacím, tak zejména ve chvílích jeho provedení. Touto cestou výměny obrovského objemu dat, týkající se všech aspektů letu v prostoru, systém umožňuje okamžité reakce na jakékoliv změny, podněty, či požadavky ať ze strany sprostředkovatelů, tak uživatelů. Tím zásadně přispívá ke vzrůstu bezpečnosti leteckého provozu.

Derivátem vzrůstu kapacity letového provozu a zejména možností letět trať z bodu A do bodu B optimální trajektorií v optimální výšce, je výrazná ekonomická úspora v provozních nákladech na jeden let. Takto se zkrátí i doba letadla ve vzduchu, čímž klesne ekologické zatížení. Paradoxně poklesem ekologického zatížení na jeden let, lze více než předpokládat, že dojde ke vzrůstu celkového ekologického zatížení. Vzrůstem kapacity stoupne celkový počet letů ve vzdušném prostoru, čímž celkově vzroste i ekologická zátěž letecké dopravy. Částečné zmírnění tohoto aspektu lze pozorovat v trendu výroby čím dál více „zelených“ ekologických letadel. [2], [7]

3.5 Hlavní nedostatky obecně

Hlavní nedostatky konceptu nejsou ani tak na úrovni teoretické, jako spíše v jeho technické realizaci a samotném provozu. Výchozím faktem pro téměř všechny jeho klíčové problémy je poměrně radikální změna, dána přesunem zodpovědnosti na palubu letadel. Z technického hlediska je nejsložitější vyvinout takový vhodný nástroj (ASAS), který umožní posádkám udržovat bezpečné rozestupy od okolního provozu a tak v podstatě tento přenos zodpovědnosti reálně umožnit. Zejména z jeho výkonnostních a kapacitních parametrů budou vycházet stěžejní omezení celého Free Flight konceptu. V podstatě rozhodují o jeho konečné efektivní využitelnosti.

Přenosem zodpovědnosti přibude posádkám další povinnost v už tak náročném povolání. Navíc dojde k posunu role řídícího do nestandardní monitorovací polohy, z níž můžou mít někteří řídící letového provozu problém se ztotožnit.

Procedurální problémy a potencionálně nebezpečné situace mohou vznikat při přeletech letadel ze standardně řízených oblastí do nového prostoru vyhrazeného pro Free Flight (FFAS). Nehledě na to, že tyto přechody budou představovat nové slabiny systému, které by se mohly projevit jako pověstné hrdlo láhve, kde se budou nově koncentrovat staré problémy s kapacitou. S letem ve FFAS souvisí i poměrně náročné nouzové postupy pro případ, že letadlo ztratí schopnost udržovat si rozestupy právě během letu ve Free Flight prostoru (FFAS). Například tím, že nebude schopné vysílat ani přijímat potřebná data pro systém ASAS. Je tedy nutné navrhnout postupy pro bezpečné opuštění Free Flight prostoru a neohrozit přitom vlastní ani okolní letadla. [2], [5], [7]

4 Klíčové aspekty konceptu Free Flight self-separation

Provozní koncept udává požadavky na systém, který ho bude realizovat. Na druhou stranu dostupné technologie řídí možnosti provozního konceptu. V aviatice bývá obvyklé, že veškerým inovacím dává závěrečný rámec technologie a její reálné možnosti namísto původních požadavků. To je konec konců logické a obvyklé v prostředí, kde se pracuje s mechanismy a prvky na hranici technologického poznání. Nejdůležitějším technickým řešením je realizace systému zajišťující separace za letu (Airborne Separation Assurance System - ASAS).

ASAS se skládá ze dvou základních částí:

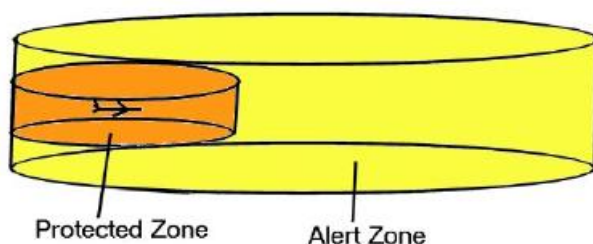
- Modulu detekce a řešení konfliktu tzv. CD&R modul: z dostupných informací o vlastním a okolním provozu detekuje potenciální konflikty a navrhuje jejich řešení
- Systému distribuce dat: zajišťuje vysílání a příjem informací o vlastním i okolním provozu (polohy, rychlosti, záměry), potřebných pro detekci a řešení konfliktu (pro modul CD&R). Systém ADS-B je takovou realizací.

Zde je několik klíčových prvků, které mají zásadní dopad na konečnou podobu ASAS systému.

- Ochranné zóny
- Definice konfliktu
- Detekce konfliktu
 - Druh a způsob výměny dat o záměrech letadel
- Způsob řešení konfliktních situací
 - metoda prioritních pravidel
 - metoda kooperativní
 - přehled vyvinutých metod
- Prevence konfliktu (PRED-ASAS)
- Optimální metoda zajišťující ASAS
- Role ATC
- TCAS v rámci Free Flight [1], [2], [10], [11]

4.1 Ochranné zóny

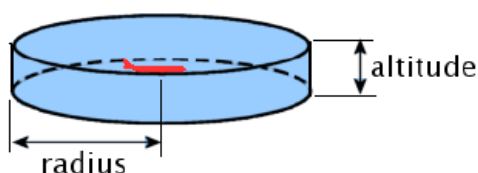
Ve Free Flight prostředí budou letadlo obklopotvat dvě zóny. První vnitřní se nazývá „Protected zone“ druhá vnější se jmenuje „Alert zone“.



Obr.9 ochranné zóny

Alert zone slouží k rozpoznání nebezpečných situací, které mohou vyžadovat intervenci ze strany posádky/systému. Tvar zóny je cylindrický a její velikost je dána rychlostí letadla, výkonností a jeho CNS/ATM úrovní. Do značné míry vychází ze systému detekce a řešení konfliktů, zjednodušeně a mírně nepřesně představuje operační prostředí CD&R modulu pokrývající oblast, ve kterém se letadlo v blízké budoucnosti bude nacházet. Alert zóna pokrývající prostor 100NM a beroucí v úvahu průměrnou rychlost dnešních letadel, je schopna pokrýt čas okolo 5 a ½ minuty před konfliktem.

„Protected zone“ představuje oblast ve tvaru hokejového puku obklopující letadlo, která musí zůstat prostá ostatních letadel. Její velikost závisí na požadovaných separačních minimech. Její průměr vzhledem k cylindrickému tvaru, představuje vždy dvojnásobek požadovaných separačních minim. (separační minima = radius ochranné zóny)



Obr.10 rozměry „protected zone“

U ochranné zóny je hlavní myšlenkou závislost její velikosti na momentální navigační výkonnosti (Actual Navigation Performance) dosahované během letu. ANP je aktuální navigační přesnost vyjádřena v NM a vypočítaná palubním systémem FMS založeno na navigačních údajích z GPS, IRS, VOR/DME zařízení. ANP se tedy může lišit v závislosti v jakém místě planety a v jaké fázi letu se nachází a pohybuje se v hodnotách zhruba od 5 do 0,1. Následující tabulka, ukazuje návrh rozměrů ochranné zóny v závislosti na měnící se ANP. [1], [2], [10], [11]

Tab.1 rozměry protected zone v závislosti na ANP[2]

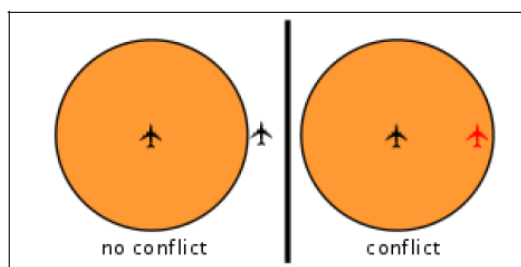
Actual Navigation Performance	Protected zone dimensions	
	Radius [NM]	Altitude [ft]
0-0.5	5	2000
0.5-1	8	2000
1-2	12	2000
2-3	16	2000
3-4	20	2000
4-5	24	2000

4.2 Definice konfliktu

Definice plus dlouhodobý konf./ krátkodobý, prolínání (problém s predikci s intedem) atd.

Rozdíl oproti midair collision u TCAS

Konflikt je definován jako potencionální narušení ochranné zóny letadla v blízké budoucnosti.



Obr.11 konflikt dvou letadel

Podle toho o jak vzdálenou budoucnost se jedná, rozlišujeme konflikty:

- Short-term conflict (méně než 3 minuty)
- Medium-term conflict (3 – 5 minut)
- Long-term conflict (více jak 5 minut) [2]

4.3 Detekce konfliktu

Jak z názvu vyplývá hlavním úkolem tohoto systému je předvídat možná narušení ochranné zóny letadla, která byla definována výše, způsobem, který byl rovněž uveden výše. Systém detekce konfliktu detekují pouze trajektorie letadel, které mohou narušit ochranou zónu vlastní lodi v blízké budoucnosti.

Detekce konfliktu může probíhat na základě následujících dat:

- Aircraft position (poloha)
- Aircraft state data (poloha + trend vektor)
- Aircraft intent data (body tratě/letový plán)

Během procesu detekce je ochranná zóna letadla promítána dopředu v čase podél předpovězené trajektorie různým způsobem založeným na druhu dostupných dat.

- Historie (tracky letadel, pokud je k dispozici polohová informace)
- Současná data (speed vektor, pokud je přítomná informace o aktuálním statutu letadla)
- Budoucí data (Letový plán, pokud je intent k dispozici)

Pro detekci konfliktu se předpokládalo s různým druhem (zdrojem) informace o zamýšlené trajektorii (intent). [1], [2], [10], [11]

4.3.1 Teoretický nástin problému s „intent“ informacemi

Teoreticky je schopnost předvídat potencionální konflikty letadel založena na znalosti budoucí trajektorie vlastního letadla a okolního provozu. Toho lze dosahovat na základě několika různých přístupů. Každý z nich má své výhody a nevýhody. Jde především o úroveň znalosti momentální a budoucí polohy, kdy na jedné straně známe exaktně aktuální polohu a rychlost a z nich vypočitatelný relativně krátkodobý budoucí stav, na straně druhé známe celý letový plán s tím faktem, že aktuální trajektorie se ne vždycky shoduje s tou, která je uložena v letovém plánu. Podle úrovně znalosti zamýšlené trajektorie (intent) existuje několik variant, které ve svém důsledku ovlivní výslednou formu systému zajištění separací.

„No intent“

- Žádná znalost záměru letadla, budoucí statut letadla je vypočten na základě znalosti aktuální situace tj. aktuální poloha v prostoru (poloha, výška) extrapolovaná s aktuální rychlostí, přesněji řečeno „trend“ vektor (ground speed, track, vertical speed)

„With intent“

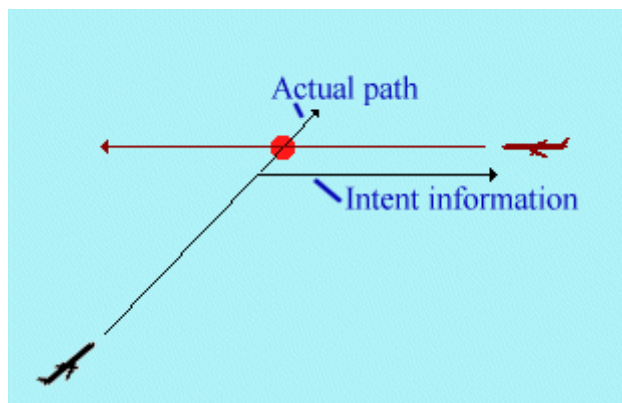
- Znalost (taktického) řídicího modu (autopilota)
- Znalost dalšího (dalších) bodu trajektorie či znalost kompletního letového plánu tak, jak je uložen ve FMS.

Kromě první „no intent“ možnosti, všechny zbývající pracují s nějakou formou znalosti budoucího statutu letadla, lišící se zdrojem této informace. Zjednodušeně lze říci, že čím dále informace o záměru letadla umožňují časově dohlédnout do budoucnosti, tím méně si můžeme být jistí, že se tak skutečně stane. Znalost modu autopilota umožňuje znát následující krok posádky za předpokladu, že je k tomuto účelu skutečně použit a neslouží pouze jako „pamatováček“ určitého výškového či rychlostního údaje pro posádku. Znalost dalšího bodu trajektorie, či celého letového plánu naráží na podobná úskalí, jakkoliv umožňují dohlédnout časově nejdále do budoucnosti, platnost těchto dat je zaručena pouze letí-li letadlo na autopilota v modech VNAV a LNAV. Znalost informace o aktuální poloze a rychlosti umožňuje pouze výpočet budoucí polohy v krátkém časovém horizontu. Účinnějším by se stalo za přítomnosti struktury letových cest, kdyby se dala lépe určit budoucí pravděpodobná poloha v návaznosti na systém tratí. Jak je vidět, každá metoda má své výhody a nevýhody. Bylo by proto vhodné z kraje prozkoumat oba extrémy a jejich možnosti, poté specifikovat klady a zápory všech možných přístupů a zvolit optimální průnik všech metod, jako to nejkomplexnější řešení.

Je evidentní, že metoda pracující s aktuálním stavem (no intent) bude náchylnější ke spouštění falešných poplachů, hlavně během změn kursu a výšek, kdy může na malý moment potenciálně protnout trajektorie ostatních letadel. Tyto konflikty jsou však aktuální v řádech sekund a mohou být vhodnou metodou odfiltrovány.

Naopak metoda pracující s částečnou (next waypoint) či úplnou (flight plan) znalostí zamýšlené trajektorie = (intent), může trpět opačným problémem v momentě, kdy se aktuální trajektorie neshoduje s tou, která slouží jako zdroj informací pro systém detekce konfliktu. Vyvinout komplexní systém, který by ověřoval zdroj a platnost jeho informací, se jeví poněkud složité a tak jako tak představuje bezpečnostní slabinu tohoto přístupu.

Na druhou stranu přítomnost „intent“ informace, ať už jen několik bodu budoucí trajektorie či celý letový plán ostatních, značně zjednodušuje proces predikce. Při použití vhodného nástroje na ověřování zdroje a platnosti „intent“ informace a v kombinaci se systémem ASAS založeným na aktuálním statusu letadla, představuje tato kombinace ideální řešení ASAS systému pokrývající celé různorodé spektrum konfliktů. Predikci budoucích poloh letadel, lze provádět ve vhodných časových rámcích až do 20 minut dopředu. Při narušení ochranné zóny je detekován konflikt, který je dále předmětem modulu řešení konfliktů. Kde bude řešení vhodnou metodou, založenou na prioritních pravidlech. [1], [2], [10], [11]



Obr.12 *potencionální nebezpečná situace s použitím „intent“ informace [15]*

Obrázek nahoře ukazuje jedno z možných nebezpečí, plynoucí z použití znalosti informace o zamýšlené trajektorie z taktického modu autopilota. V našem případě zvolená hodnota altitudy funguje jako zdroj informace pro detekci konfliktu, jakkoliv tento princip funguje i pro znalost letového plánu ve vertikální i horizontální rovině. Stoupající letoun nespustí poplach, alespoň ne dokud je zamýšlená trajektorie čtená z okruhů autopilota a letoun se nachází nejméně 1000ft pod úrovní letounu letícího v hladině. Nebezpečí tkví v tom, že informace nastavena na panelu autopilota slouží častou jako upomínka pro piloty, připomínající jim, že mají, na příklad, při prostoupání přechodové výšky změnit rychlost z jednotek IAS na MACH. V tomto případě by situace vyústila v potencionálně nebezpečný short-term konflikt, tedy konflikt mnohem časově a stresově urgentnější. To představuje příklad, jak složité je vytvořit komplexní systém ověřování zdroje a platnosti informace o zámýšlené trajektorii letadel.

4.3.2 Radikální přístup „no intent“

Jde o radikálnější pohled na primární procesy řešení konfliktních situací. Výzkum (NRL-Holandsko) byl založen na představě, že výměna informací o záměru letadel (intent) představuje významné bezpečnostní riziko, vycházející z již výše zmíněných problémů s ověřováním zdroje informace a její platnosti. Obsah následujícího textu je tedy vystavěn tak, aby tuto myšlenku podpořil, zde je nutné vzít na vědomí, že jiné výzkumy některé myšlenky vyvracejí a dokazují nespornou efektivnost použití informací o záměru letadel, umožňující dlouhé časové predikce konfliktů, založené na velmi přesných datech. Zejména za předpokladu, že zdrojem „intent“ informace o záměru je systém FMS, který dělá predikci vlastní trajektorie pro provozní a navigační účely tak, aby let probíhal co nejefektivněji a podle časového plánu s takřka sekundovou přesností, beroucí v úvahu úbytek paliva, počasí, vítr na trati a mnohé další prvky ovlivňující velmi výrazně rychlost a přesnost vedení letadla po trati. Takové predikce jsou metodou, vycházející z použití pouze aktuálního statutu letadla jako výchozí informace (no intent), neuskutečnitelné.

Navzdory mnohem intenzivnějšímu využití vzdušného prostoru, vyplývající z uplatnění přímých trajektorií a používání optimálních letových hladin, nedocházelo během simulací (NRL) k navýšení počtu konfliktů (definovaných jako narušení ochranných zón). Ani v době kdy nebyl k dispozici žádný konkrétní nástroj prevence konfliktů. Myšleno v době, kdy byly zavedeny přímé tratě, v některých oblastech, kde hlavním prostředkem detekce konfliktů byly systémy založené na principu nástroje zvaného STCA (Short Term

Conflict Alert). Což je nástroj řídicích letového provozu, umožňující odhalení hroící ztráty bezpečných rozestupů, kde datovým zdrojem předpovědi kolize je pouze znalost aktuální polohy extrapolovanou s rychlostí a vytvoření tzv. trend vektoru = předpověď nejbližší budoucí trajektorie. Časový horizont událostí je ohraničen hodnotou 5 minut, která se ze zkušeností a simulací jeví jako optimální.

Protože potřeba úhybných manévru se tedy jeví relativně vzácná, je plně dostačující použití, pro většinu letu, předpovídání budoucí trajektorie pouze z „trend“ informace. Přesnost predikce se výrazněji nezmění užitím pouze aktuálního statutu letadla (3D poloha + trend vektor = no intent), namísto znalostí informace o dalším bodě či celé trajektorie právě proto, že zamýšlena trajektorie je v době přímých tratí právě současná trajektorie. To znamená, že skutečná trajektorie je prostá jakýchkoliv náhlých změn kursu, výšky či rychlosti, tak špatně předvídatelných pouze se znalostmi aktuální polohy a rychlosti.

Především v definovaném časovém rámci pěti minut si lze stěží představit, že by znalost celé trajektorie nějakým způsobem přispěla k signifikantnímu zlepšení přesnosti predikce systému, alespoň tam, kde se využívají přímé tratě. Tuto představu potvrdily již první off-line simulace, které byly uskutečněny, kde systém detekce a řešení konfliktu potvrdil svojí účinnost bez širší znalosti záměru letadel.

Tento systém by ovšem nevykazoval takovou efektivnost v soudobém prostředí řízeném ATC, kde je stále přítomen prvek náhlých povolení ke stoupaní/klesání a prvek pevných letových cest, které mohou zahrnovat velmi náhlé a prudké změny směru a výšek. Zde by byla znalost celé trajektorie výraznou výhodou, jelikož takovéto prudké změny jsou dlouho dopředu stěží odhadnutelné z aktuální polohy a rychlosti.

Snížení požadavku týkající se znalosti informace o zamyšlené trajektorii má značné výhody

- Větší transparentnost systému detekce a řešení konfliktů pro piloty
- Nižší zatížení frekvenčních pásem pro nezbytnou výměnu tohoto druhu informací
- Odstranění nutnosti komplikovaného hodnocení věrohodnosti zdroje a platnosti těchto informací z (FMS, MCP, či jiné potenciální speciální zařízení)
- Méně technických modifikací v kokpitu

Při nepoužití „intent“ informace, tedy použití metody „no intent“ musí systém detekce sledovat pouze aktuální polohu v prostoru (poloha, výška) a tzv. trend vektor (ground speed, track, vertical speed) k předpovědi konfliktu. Použitím vektorových výpočtů je určen čas zbývající k dosažení minimální vzdálenosti mezi letadly.

$$t_{\min \text{ dist}} = \frac{-\underline{dv} \cdot \underline{dx}}{\underline{dv} \cdot \underline{dv}} = \frac{-|\underline{dx}| \cos \angle (\underline{dv}, \underline{dx})}{|\underline{dv}|}$$

$t_{\min \text{ dist}}$ = time to go to minimum distance

$\underline{dv} = v_j - v_i$ = 3D vector indicating relative speed of intruder

$\underline{dx} = x_j - x_i$ = 3D vector indicating relative position of intruder

i = index indicating ownship

j = index indicating intruder

Pokud má dojít ke ztrátě minimálních rozestupů v průběhu definovaného časového intervalu (look-ahead time), je konflikt uložen do paměti spolu předpovídaným časem a polohou obou letadel a prezentován pilotům za pomoci grafických symbolů na navigačním displeji s příslušným varováním odpovídající akutnosti konfliktu. Následně je spuštěn modul zodpovědný za řešení konfliktních situací.

Je dobré si uvědomit, že každý konflikt by měl být v ideálním případě detekován dvakrát (dvě letadla jsou vždy zapojena v konfliktu a konflikt by měl být detekován oběma). Což představuje bezpečnostní prvek při selhání jednoho z nich. [15]

4.4 Řešení konfliktních situací

Dojde-li k možnosti potenciálního narušení ochranných zón okolo letadel = detekování konfliktu, je nutno tuto situaci nějakým způsobem řešit. Za tímto účelem musejí být ustanoveny pravidla (rules of fight), poskytující vedení při řešení konfliktu. Existuje několik odlišných přístupů k tvorbě těchto pravidel, založených na rozlišných principech a filozofiích, které lze v těchto situacích uplatnit. Dva základní přístupy jsou kooperativní metoda a metoda ustanovení prioritních pravidel.

Kooperativní metoda předpokládá vzájemnou spolupráci letadel při řešení nastalé konkrétní konfliktní situace. Řešení způsobem explicitním, domluvě na úrovni hlasové komunikace nebo na úrovni systému, realizovaného vhodně navrženou metodou poskytující vedení při řešení konfliktu.

Prioritní pravidla jasně definují kdo a za jakých okolností má přednost v letu a tím jest oprávněn si zachovat originální trajektorii a kdo je povinen nést veškeré „náklady“ na vyřešení konfliktní situace. Je tedy dopředu systémově dáno, jak se situace bude řešit. Tento fakt představuje předběžnou skrytou (implicitní) koordinaci, která do značné míry redukuje nutnost použití explicitní koordinace. Explicitní koordinace je nutné použít k vzájemnému potvrzení práva přednosti v letu a to opět buď užitím R/T komunikace nebo výměny dat a algoritmů na úrovni systému. Určování prioritních čísel, určující kdo má vyšší úroveň přednosti letu, lze založit na rozličných přístupech. Například podle úrovně vybavenosti letounu. [1], [2], [10], [11]

4.4.1 Prioritní pravidla//kooperativní metoda

Z teoretického hlediska je, při vytváření pravidel létání, jednou z nejdůležitějších věcí rozhodnutí, týkající se typu použitých pravidel při prevenci či řešení konfliktních situací. Jak již bylo zmíněno, existují dva základní přístupy založené na použití:

- Prioritní pravidla (priority rules): použití práva „přednosti v cestě“ tak, že pouze jedno letadlo má povinnost manévrovat
- Kooperativní „pravidla“ (co-operative rules): vzájemná spolupráce (koordinace) letadel při vyhýbání se - obě letadla manévrují

Prioritní pravidla či kooperativní algoritmy slouží k zabránění nežádoucích stavů při řešení konfliktu. Stavů jako je kontra-produktivní manévrování dvou letadel vedoucí k potencionálně nebezpečným situacím, kdy obě letadla manévrují zrcadlovým způsobem podobně jako chodci, kteří se snaží vyhnout na chodníku a vždy zvolí společný směr.

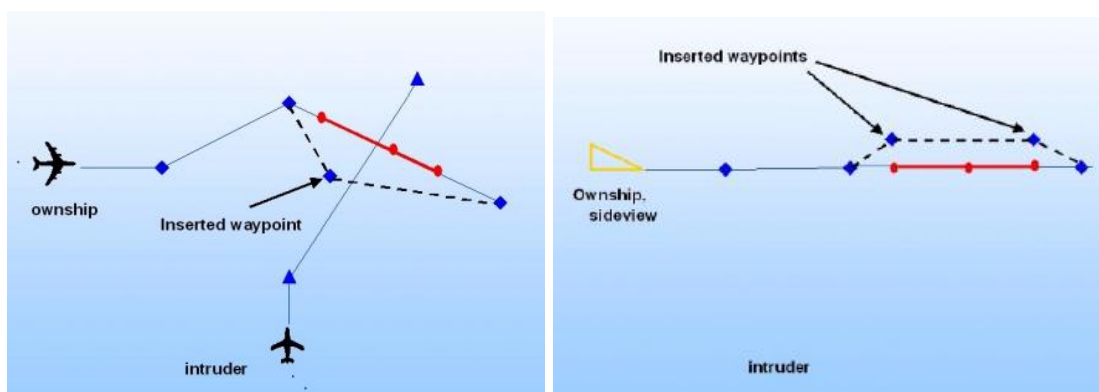
Při použití prioritních pravidel je jasně určeno, který letoun pokračuje v cestě s nulovým zásahem do trajektorie a to, na kterém leží zodpovědnost za vyhnutí se konfliktní situaci. To je do jisté míry velmi jednoznačné řešení, ale určitě není to nejefektivnější. Letadlo s povinností manévrovat je nuceno provádět mnohem výraznější změny kursu výšky či rychlosti, na rozdíl od situace, kdy obě letadla provedou jen přiměřený odklon od původních trajektorií se stejným výsledkem, v podobě bezpečné vzdálenosti obou letadel, při vzájemném míjení se. Nehledě na to, že bezpečné vzdálenosti je teoreticky dosaženo v polovičním čase při manévrování obou letadel současně. Z psychologického hlediska je rovněž použití prioritních čísel nepřirozené, myšleno z pohledu pilota s právem přednosti v „letu“ který jen vyčkává, až jeho protějšek provede úhybný manévr. Kooperativní mód na stranu druhou vyžaduje velkou míru koordinace během vzájemného vyhýbání se. Použití konkrétních pravidel je teoreticky náhražkou přímé koordinace, protože tyto pravidla, popisující řešení konfliktu, představují koordinaci skrytou (implicitní). Avšak v reálné podobě je jistá míra otevřené (explicitní) koordinace stejně nutná i u těchto metod, minimálně k určení a potvrzení toho, kdo má skutečně právo přednosti a kdo musí provést úhybný manévr.

Prioritních pravidel v podobě přidělování prioritních čísel, lze teoreticky využít k motivaci provozovatelů vybavit svá letadla odpovídajícím vybavením pro Free Flight např. budou-li letadla, která jsou lépe vybavena pro lety v prostředí Free Flight dostávat vyšší prioritní čísla a tím požívat více výhod Free Flight konceptu. Ovšem tento nápad má krom nádechu lacinosti i bezpečnostní rizika, kdy lépe vybavená letadla mají logicky lepší předpoklady k tomu provést úhybný manévr přesněji, tudíž na vyšší bezpečnostní úrovni.

Navíc kooperativní metoda představuje bezpečnostní prvek, pokud jedno z letadel při provádění manévru selže, druhé může kompenzovat nepřítomnost odezvy z druhé strany a bezpečně dokončit úhybný manévr. [1], [2], [10], [11]

„INTENT“ + PRIORITNÍ PRAVIDLA V RÁMCI LONG/MEDIUM-TERM KONFLIKTU
Z technickoprovozního hlediska se prioritní pravidla ideálně hodí jako řešení konfliktů detekovaných s větším časovým předstihem. Při použití „intent“ informace, dojde k detekci potenciálního konfliktu v časovém horizontu až 20 minut. Zde není žádná nutnost manévru obou letadel, neboť i malý manévr jediného letadla znásobený efektem 20 minut, představuje ve výsledku více než dostatečný vzdálenostní rozdíl mezi letadly v místě nejbližšího sblížení po korekci. Jakkoliv při řešení long-term konfliktů se předpokládá, že si letadlo s menší

prioritou přidá waypoint/y do své trajektorie tak, aby došlo k vyhnutí se konfliktu. Tyto postupy se s menšími obměnami dají uplatnit i při řešení medium-term konfliktu.



Obr. Řešení long-term konfliktů v horizontální či vertikální rovině [10]

Manévr druhého letadla, jeli žádoucí, může být provedený za předpokladu použití vhodné metody to umožňující. Prioritní pravidla se hodí i pro ostatní konflikty až do takzvané prahové hodnoty (simulacemi určené na 3 minuty). Pokud nedojde k iniciaci řešení do doby, kdy do konfliktu budou zbývat 3 minuty, je načase, aby se na manévru povinně podílely strany obě. Systém se přepne do kooperativního modu, umožňující rychlejší vyhnutí letadel. [1], [2], [10], [11]

4.4.2 Implicitní/explicitní koordinace

Existují tedy dva druhy koordinace tzv. skrytá (implicitní – užití nějakých pravidel) a otevřená (explicitní – např. přímá domluva cestou radiotelekomunikace či výměny dat na úrovni systému). Jak bylo zmíněno výše, použití implicitní či explicitní koordinace je do značné míry vázáno na metodě detekce a řešení konfliktu. Přítomnost konkrétních pravidel (např. prioritních) může do značné míry nahradit použití explicitní koordinace.

Ale i v případě použití prioritních pravidel je nutné zajistit, aby letouny, zapojené do řešení konfliktní situace, jasně věděly, kdo má právo přednosti a kdo je povinen provést manévr k vyhnutí se provozu. To bez vzájemné výměny dat či domluvy není možné. Takže ani přítomnosti prioritních pravidel se nelze zcela vyhnout nutnosti použít explicitní koordinace.

V případě absence konkrétních pravidel bude funkčnost celého systému postavena na přítomnosti vysokého stupně explicitní koordinace. Kdy se letadla, při obousměrné výměně dat či R/T kanálem domluví kdy, kde a jak dojde k vyhnutí se kolizní situaci pro oba tím nejoptimálnějším způsobem.

Nevýhody plynoucí s použitím explicitní koordinace tedy existují pro oba případy, použití i nepoužití prioritních pravidel.

- Časová ztráta během čekání na zpracování, vyhodnocení a zahájení koordinačního cyklu
- Vyšší zatížení frekvenčního pásma

V souhrnu to znamená, že k explicitní koordinaci by mělo docházet, jen pokud je tomu opravdu zapotřebí. Znalost pravidel provozu na silnicích zabraňuje výskytu nežádoucích a

nebezpečných situací, jako je nadbytečná až nebezpečná extra-koordinace. Podobnými prostředky toho může být dosaženo v letectví. [1]

4.4.3 Konkrétní metody definující průběh řešení konfliktu

Na teoretické úrovni bylo vymyšleno několik metod, jak nejlépe naložit s konfliktní situací. Při off-line simulacích byla následně prokázána efektivnost některých z nich.

ALTITUDE STEP (podobné jako TCAS)

Metoda vypočítává optimální hladinu, které je nutno dosáhnout před tím, než nastane konflikt. Letadla se domluví kdo a jakým směrem bude manévrovat podobně, jak je tomu u TCAS III. Efektivnost této metody vyplývá z tvaru ochranných zón a tím i menší potřeby významnějších odklonů od původní trajektorie. Nevýhody tkví v její technické proveditelnosti, potřeby speciálních zařízení vyžadující zavedení extra-frekvenčního pásma podobně jako u TCAS. Nad to vše není metoda příliš transparentní, kvůli vynechání lidského faktoru z řešícího řetězce. Navíc výškové manévrování není časově a palivově příliš šetrné.

CROOS PRODUCT OF THE SPEED VECTOR (vektorový součin)

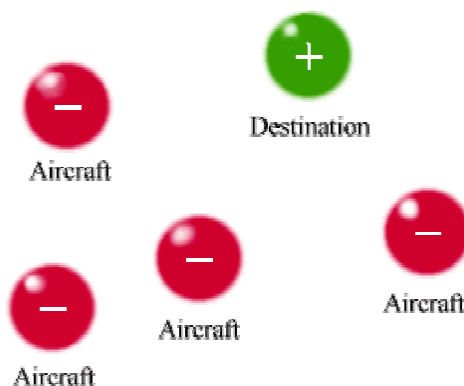
Tato metoda je založena na vektorovém součinu dvou rychlostních vektorů letadel zapleteném v konfliktu. Využívá nekomutativních vlastností této matematické operace k určení směru a velikosti úhybného vektoru. Ten je vždycky kolmý k letadlu a dá se použít v horizontálním i vertikálním směru. Řešení konfliktu probíhá kooperativně za účasti obou letadel. Nevýhodou je jeho nižší efektivita.

EXTENDED VFR METHODS (rozšířená stávajících VFR pravidel)

Metoda využívá existující pravidla pro přednost v letu z pravidel specifikovaných v předpisech pro lety vedeny pod VFR. Tyto pravidla jsou modifikovány tak, aby brali v úvahu nejen směr, ze kterého letadlo přilétá, ale i fázi letu ve které se nachází. Možnosti manévru jsou tedy volnější, což komplikuje jejich převedení do algoritmů. Další nevýhodou je, že opět jen jedno letadlo manévruje.

VOLTAGE POTENCIAL

Tato metoda je analogií k fyzikálním zákonům platící na částicové úrovni. Letadla jsou nabitá záporným potenciálem a cílová destinace je kladná. Mezi letadly tedy fungují obdobné fyzikální děje jako mezi částicemi. Letadla se odpuzují (mají stejné znaménko) a všechny letadla směřují k cílové destinaci (kladné znaménko), protože je opačně nabitá.



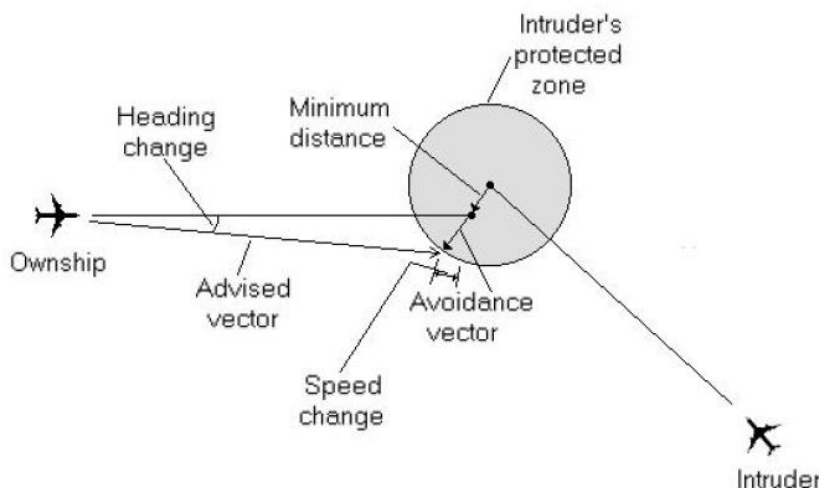
Obr.13 princip „Voltage „potencial“ metody

MODIFIED VOLTAGE POTENCIAL = NEJVHODNĚJŠÍ METODA

Předešlá příliš jednoduchá metoda, než aby se dala použít pro praktické řešení konfliktů letadel. Metoda (Voltage potencial) byla modifikována tak, aby vykazovala mnohem více pragmatických rysů při řešení konfliktu.

Když je rozpoznán konflikt detekčním modulem, modul řešící konflikt předpoví budoucí pozici obou letadel, ve které si budou nejbližší. V ten moment se aplikuje výchozí geometrie této metody, jejímž smyslem je definovat úhybný vektor (avoidance vektor či příslušnou změnu rychlosti z něho vycházející) a to vše v závislosti na míře vážnosti konfliktu. Metodika je následující: [15]

Minimum distance vektor je vektor mezi předpovězenou pozicí narušitele a vlastního letadla v momentě nejkratší možné vzdálenosti mezi nimi. Tzv. avoidance vektor vzniká jako spojení centra vlastní lodě a okraje ochranné zóny narušitele, ve směru vektoru minimum distance. Délka avoidance vektoru je v podstatě míra narušení ochranné zóny a přímo reflektuje stupeň závažnosti konfliktu. Čím menší je vzdálenost mezi vlastní lodí a narušitelem v nejbližším bodě = minimum distance vektor, tím větší bude avoidance vektor, transparentně vyjadřující naléhavost=velikost potřeby vyhnout se. Samozřejmě avoidance vektor je tou nejkratší, tudíž nejefektivnější cestou vyřešení konfliktu. Vydělením avoidance vektoru časem zbývajícím do konfliktu, dostaneme změnu rychlostního vektoru, která je přičtena k momentální traťové rychlosti=ground speed. Výsledkem je tedy doporučená trať (track) a ground speed. Použitím třídimenzionálního vektoru je rovněž vypočítaná (jako jeho vertikální složka) velikost vertikální rychlosti. V případě multi-konfliktu jsou avoidance vektory sloučeny (sečteny).



Obr.14 geometrie „voltage modified potencial metode“

I tato metoda má své nedostatky vyplývající z geometrie tkvící v její nejednoznačnosti v několika málo specifických situacích. Například letí-li letadla na vstřícných (přesně opačných) kurzech bez jakékoliv změn vertikální rychlosti. To lze vyřešit algoritmy řešícími speciální situace za pomoci konvence. Př. Letadla letící proti sobě výše zmíněným způsobem, obě letadla točí vpravo.

Tato metoda v sobě obsahuje aspekt „fail safety“. Během řešení konfliktu se předpokládá, že bude manévrovat jen jedno letadlo. Druhé letadlo má ovšem k dispozici vlastní „avoidance vektor“ se všemi náležitostmi a v případě potřeby může rovněž manévrovat. Takhle je teoreticky dosaženo efektivní koordinace bez potřeby vyjednávání či nadbytečné komunikace. Prakticky lze této výhody využít tak, že od určité kritické časové hodnoty, pokud nedojde k iniciaci řešení, se přepne CD&R modul na kooperativní mód a obě letadla začnou na vyhnutí se konfliktu spolupracovat, obě budou sdílet požadavky k vyhnutí se, čímž se výrazně zkrátí čas potřebný k vyhnutí se kolizi.

Navíc si obě letadla můžou vybrat, vyřeší-li konflikt horizontálně či vertikálně, tedy teoreticky jsou přístupné čtyři řešení, což je samo o sobě významným bezpečnostním prvkem. Někdy se stane, že některá „avoidance“ řešení vedou do zakázaných či jinak nevhodných prostor, ale je v podstatě vyloučeno, aby tam vedly všechny. A pokud by se tak stalo, je zde stále prostor pro TCAS, či řešení cestou R/T. [2], [15]

4.5 ASAS – prevence konfliktu

Nad modulem detekce a řešení konfliktu bude zavedena funkce prevence konfliktu CP (Conflict Prevention). CP je nástroj sloužící posádce předvídat konflikty zejména během manévrování. Jinými slovy k tomu jestli a jak může posádka změnit svůj letový plán, kurz, rychlost, výšku a rychlost stoupání a klesání. Svůj význam bude mít zejména u state based CD&R modulu, kde nepřítomnost „intent“ informace neposkytuje možnost odhalit všechny možné konflikty v delším časovém rámci, ale i jako prostředek prevence, kdy z akutních důvodů bude nutné náhle změnit trajektorie, která není součástí původní zamyšlené trajektorie tedy ani součástí „intent“ informace vysílání do okolí. Smyslem je eliminovat veškeré změny trajektorie, které by vzápětí spustili CD&R modul v jakékoliv jeho podobě. Tím, že pilot bude mít na displeji zobrazeny tzv. no-go zóny, bude jasně vědět, která změna kurzu, výšky či rychlosti povede k dalšímu konfliktu (většinou short-term konflikt) a která bude konfliktu prostá.

Rozhraní může být implementováno do primárního i navigačního displeje v podobě barevně označených nepřípustných kurzu, výšek a rychlostí, které by potenciálně vedly k dalším konfliktům.

Použití CP lze zpraktičtít tím, že kromě potenciálních konfliktů bude indikovat i nepřípustné změny průběhu trajektorie, které by vedly do vyhrazených, omezených či zakázaných prostorů. Dále by mohl indikovat oblasti s vysokou hustotou provozu. [1], [2], [6], [10]

4.6 Optimální řešení CD&R modulu

Po prostudování dostupných analýz a výstupu ze simulací, je nutno strukturovaně zhodnotit všechna pro a proti zmíněných přístupů k detekci a řešení konfliktů a zvolit optimální a proveditelný způsob realizace funkčního a spolehlivého systému ASAS. Je nutné vzít do úvahy bezpečnost, zatížení posádky a její přijatelnost, ekonomiku a zatížení datového a komunikačního kanálu. Automatický provozní koncept nemusí být nutně postaven na jedné jediné metodě.

Po prozkoumání výhod a nevýhod obou extrémních přístupů plynoucí s použitím buď výhradně informací o záměru letadel (celý letový plán) nebo jen výhradně predikce, založené na aktuálním statutu letadla (4D poloh + trend vektor), se jeví býti nejvhodnějším řešením průnik těchto přístupů ve vhodné, optimálně zvolené míře. Myšleno užít jak znalosti o záměru letadel, tak znalosti o aktuálním státu letadla a tím pokrýt celý časový rámec konfliktů a eliminovat nevýhody obou krajních přístupů.

4.6.1 Detekce a řešení short-term konfliktů

Pro řešení short-term konfliktu, kdy do narušení rozestupů zbývají méně než 3 minuty, se ideálně hodí „úzkostnější“ *state-based CD&R modul*. Z informací o 4D polohách a trend vektorech modul nekompromisně detekuje všechny potencionálně možné konflikty, které by se mohly odehrát ve velmi krátkém časovém horizontu velmi blízké budoucnosti. Proto každý short-term konflikt představuje velké bezpečnostní riziko. V tomto případě tendence *state-based CD&R modulu* k falešným poplachům, při dočasném protnutí trajektorie jiného letadla, je spíše výhodou. Navíc vhodnými filtračními algoritmy se dá počet falešných detekovaných konfliktů výrazně snížit. Pro řešení konfliktů do prahové hodnoty 3 minut se používá metoda modifikovaných napěťových potenciálů, fungující na bázi prioritních pravidel, při které má pouze jedno letadlo povinnost manévrovat. Metoda díky vhodným algoritmům a vnitřní geometrie umožňuje, aby se na manévru dobrovolně podílelo i druhé letadlo. Od prahové hodnoty 3 minut se metoda modifikovaných napěťových potenciálů přepne do kooperativního modu, kdy povinnost a náklady na řešení konfliktu sdílejí obě letadla.

4.6.2 Detekce a řešení medium/long term konfliktu

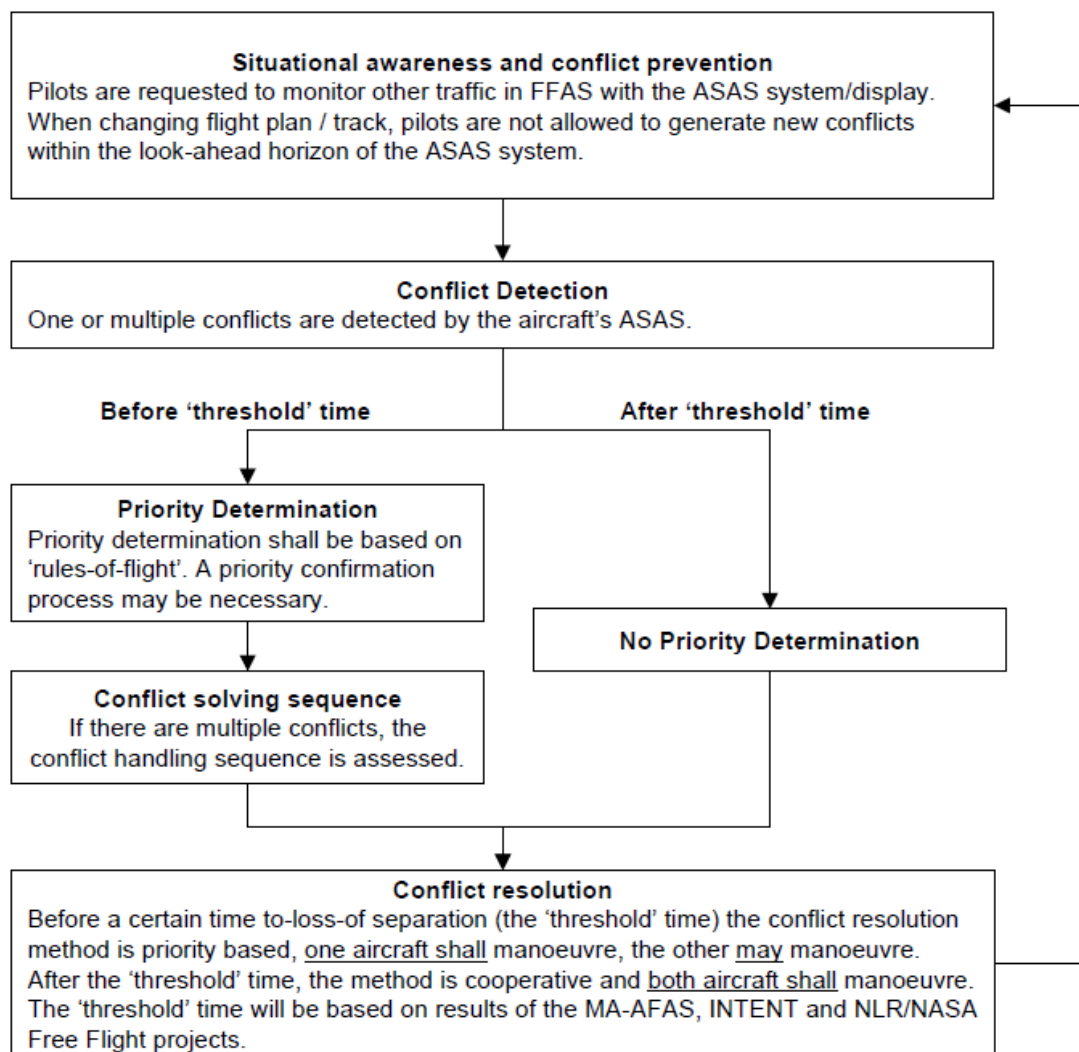
Pro řešení medium a long-term konfliktů je ideální již zmíněné propojení znalostí o budoucí trajektorii letadel „intent“ informace z důvěryhodných zdrojů jako je FMS, s metodou používající prioritní pravidla při řešení konfliktních situací. Při detekci potenciálních konfliktů založené na *intent CD&R modulu*, tedy znalosti budoucích bodů trajektorie, zbývá do narušení ochranných zón 5 až 20 minut. Což je poměrně dlouhý časový horizont. Většinou tedy stačí, aby manévrovalo jen jedno letadlo. Při použití vhodné metody pro řešení konfliktů založené na prioritních pravidlech, jako je opět metoda modifikovaných napěťových potenciálů, je možné, aby se na manévru podílelo i letadlo s právem přednosti v letu, uzná-li to posádka či systém ASAS za vhodné. *Intent CD&R modulu* jsou náročné na algoritmy ověření platnosti a důvěryhodnosti zdroje informace o budoucí trajektorii. Tento aspekt se dá rovněž zmírnit použitím vhodného zdroje této informace jako je FMS v kombinaci s vhodným nástrojem ověřování platnosti „intent“ informace.

4.6.3 Optimální kombinace

Kombinovaný „state-based a intent CD&R modul“ by mohl vykazovat následující výkonnostní a provozní parametry:

- Detekce konfliktů probíhá jak na základě znalosti aktuálního statutu letadla (4D poloh + trend vektor), tak na základě výměny „intent“ informací o budoucí trajektorii z letového plánu či jeho části, nejlépe ze systému FMS. To umožní detekovat potencionální konflikty v časovém horizontu 20 minut.
 - v jednom z programů bylo úspěšně používáno výměny 128 bodů předpokládané „intent“ trajektorie + současný status „current state“.
- Řešení konfliktů založeného na prioritních pravidlech až do prahové hodnoty (implicitní)

- Manévr k vyřešení konfliktů je prováděn podle metody „modified voltage potencial“ beroucí v potaz výkonnostní parametry letadel
- Modified voltage potencial nabízí tři možnosti řešení konfliktu
 - Změnou kurzu (přidáním waypointu, rychlá odezva - všechny druhy konfliktů)
 - Změnou výšky (nejčastěji používané během simulace a zkušebních letů)
 - Změnou rychlosti (včetně vertikální rychlosti při stoupaní/klesání, při long-term konfliktech)
- Letadlo, které nemá prioritu, musí manévrovat v souladu s metodou modified voltage potencial
- Letadlo mající prioritu může, pokud to posádka uzná za vhodné, manévrovat, ale jen v souladu s metodou modified voltage potencial, která umožňuje, aby se i posádka letounu s právem přednosti letu, chce-li, podílela na úhybném manévru.
- V případě, že nedojde k iniciaci řešení konfliktu do určité prahové časové hodnoty (trashold value), potom se celý koncept řešení konfliktu přepne do kooperativního modu. V tomto případě jsou již povinny manévrovat obě letadla zainteresovaná v konfliktu. Prahová hodnota byla po zkušebních pokusech nastavena na hodnotu 3 minut
- Koordinace/ potvrzení prioritního pořadí a samotné řešení konfliktu bude probíhat implicitně na úrovni systému.
 - Koordinace během konfliktu: koordinace/ potvrzování priorit bude prováděna implicitně pomocí společných dat ADS-B a společných algoritmů systému [1], [2], [10], [11]



Obr.17 schéma ASAS systému se CD&R modulem a modulem pro prevenci konfliktu [2]

4.6.4 Způsob určení priority (jsou-li aplikovaná prioritní pravidla)

V momentě, kdy byl konflikt detekován, je nutno určit prioritní čísla určující, kterému letadlu bude přidělena povinnost manévrování k uvolnění konfliktní trajektorie a které letadlo (to s větším prioritním číslem) může zůstat na své původní trati.

V obecné rovině lze uvažovat přístup určení založený na úrovni vybavenosti letadel, kde letadla s lepší výbavou, jsou potencionálně lepšími vykonavateli úhybných manévřů, proto by mohly mít přiděleny nižší prioritní čísla. Lehce demotivující přístup pro provozovatele letadel, co se týče motivace pro pořízení nejnovějších technologií pro svá letadla. Na druhou stranu úhybné manévry, založené na výstupech z ASAS systému, nejsou většinou radikální změnou trajektorie.

Další možností je zvolit systém priorit založený na zbývajícím čase k cílové destinaci. Kde letadla nejbližší svému cíli budou mít tu nejvyšší prioritu.

Letadlo s povinností vyhnout se musí přeplánovat svou trajektorii tak, aby neiniciovalo další konflikty s ostatním okolním provozem. Úhybný manévr by měl být vnitřními systémy letadla zpracován tak, aby žádný další konflikt nevyvolal. Nebo pokud posádka manévr provádí manuálně, mělo by být posádce jasně graficky znázorněno (primární i navigační displej),

které změny kurzu, výšky, rychlosti jsou přípustné, vytvořit něco jako přípustnou manévrovou obálku. (PREDICTIV ASAS) [1], [2], [10], [11]

V rámci několika projektů proběhlo určení hlavních zásad přidělování prioritních čísel letadlům v různých situacích a fázích letu. Takový program je např. „FREER“. Způsoby přidělování priorit probíhá podle následujících aspektů, seřazené podle důležitosti:

- Kategorie provozu (nouzový, pohotovost, normální etc.)
- Fáze letu (počáteční stoupání, konečné stoupání, traťový let, konečné klesání etc.)
- Vzdálenost k bodu ztráty separace
- Adresa transpondéru letadla

V případě, že je do konfliktu zahrnuto více letadel algoritmu určení priorit mohou být založeny na následujícím

- Manévrovatelnost
- Dostupnost (navigační etc.)
- Letová fáze
- Vzdálenost k bodu ztráty separace

Více detailnější přístup může být následovný:

- Letadlo se zapnutým systémem priorit má přednost před letadlem se systémem vypnutým
- Více manévrovatelné letadla musí dát přednost méně obratným letounům
- Letadla se systémem *intent CD&R* mají prioritu před *state + target state CD&R* systémem a ten má prioritu nad systémem *state CD&R*
- Letoun v hladině má přednost před stoupajícími/klesajícími letadly
- Klesající má přednost před stoupajícím
- Přelétávající letadlo musí dát přednost předletovanému (letící ve stejné hladině)
- Letadlo přilétávající zprava má přednost (letící ve stejné hladině)
- Pokud se nedá aplikovat nic z výše uvedeného, priorita může být určena na základě volacích znaků [2]

4.7 Role ATC

Koncept Free Flight a verze Self-Separation zejména, je vystavěna okolo dvou základních pilířů. Jedním je volba libovolné trajektorie a druhý pilíř reprezentuje přesun zodpovědnosti za udržování separací na palubu letadel za pomoci výše zmíněných nástrojů. Zde se klasická role ATC pomalu vytrácí. V ranějších aplikacích Free Flight ještě stále ATC představuje více či méně aktivní prvek. V aplikacích, které už pracující se systémem ASAS, ATC představuje spíše bezpečnostní zálohu a bude mít roli spíše monitorovací. Rozhodně se nebude jednat o skokovou změnu, dojde k pozvolnému přechodu a transformaci ATC přesně specifikované do jednotlivých etap, primárně s ohledem na bezpečnostní aspekt. Ale teoretický si lze představit prostor FFAS plně nezávislý na ATC.

Naprosto jiná situace nastává v momentě, kdy si uvědomíme, že prostor FFAS nepokrývá celý vzdušný prostor a v blízké i vzdálenější budoucnosti rozhodně pokrývat nebude. Jeho využití tkví zejména pro lety v hladině. Zde vyvstává otázka přechodu z MAS do FFAS a naopak, kde ATC hraje a bude hrát nezastupitelnou roli ve formě řízení plynulého toku při vstupu/výstupu z FFAS a udělování všech druhů povolení s tím spojených. [1], [2], [10], [11]

4.8 TCAS v rámci Free Flight

Systém TCAS by měl zůstat přítomen i v novém ATM prostředí, jako nezávislá bezpečnostní síť. Pro případ, že se varování ze systému TCAS objeví ve stejnou dobu jako varování ze systému ACAS, je nutné určit, které z přicházejících hlášení má větší prioritu. Posádce by měla být interpretována jen hlášení s tou největší prioritou.

Varování seřazené sestupně podle priority:

- TCAS Resolution Advisory: rada k vyhnutí se kolizi ze systému TCAS
- ASAS Traffic Alert: varování před konfliktem ze systému ASAS
- TCAS Traffic Advisory: varování před provozem v konfliktní trajektorii [1], [2]

5 Free Flight Airborn Self-Separation Assurance - provozní koncept

Airborn selfseparation koncept nazývaný ve většině publikací zjednodušeně právě jako „Free Flight,,. V definici EUROCONTROLU je popsán jako let vyhrazeným prostorem Free Flight Airspace (FFAS), kde vhodně vybavené letadla mohou létat uživatelem preferované 3D a 4D tratě. Zodpovědnost za rozestupy mezi letadly leží ve většině případů na posádce, jen ve výjimečných případech jako je pohotovost či ztráta schopnosti ASAS, přechází odpovědnost na stanoviště ATS či jiné organizace (military).

K pochopení jak je zavedení „self-separací“ významným zásahem do soudobého ATM prostředí, si je třeba znovu připomenout jeho současný stav a jeho základní principy. V dnešním vzdušném prostoru je většina letadel předmětem řízení od „gatu ke gatu“ a letící pod specifickými pravidly zvané IFR. Základním úkolem ATC je bezpečnost. Dalšími úkoly jsou plynulost a ekonomičnost provozu. Vzhledem k faktu, že jeden řídicí sektor představuje základní bezpečnostní prvek systému a vzhledem k tomu, že je to lidská bytost s omezenou kapacitou, jsou jisté kompromisní a úzkostné procedury ke snížení jeho zátěže a zachování bezpečnostní úrovně na úkor plynulosti a efektivity opodstatněné. To, že současný způsob řízení ATC prostředí není nejekonomičtější, není samo o sobě důvodem k zavedení tak rozsáhlých změn. Ale vzhledem k dalším strategiím evropským i celosvětovým na integraci a harmonizaci ATM služeb, je Free Flight jedním z hlavních způsobů naplnění jejich hlavních požadavků jako: [1], [2], [7]

- Zvýšení letové efektivity zavedeným uživatelem preferovaných tratí a snížení nákladu za zpoždění
- Zvýšení kapacity vzdušného prostoru tak, aby obsáhl budoucí nárůst objemu dopravy se zachováním či zvýšením celkové bezpečnosti

S předpokládaným nárůstem dopravy o 5,2% ročně je možné, že bude potřeba kapacitu ztrojnásobit v příštích 20 letech. [16]

5.1 Očekávané výhody

Výhody zavedení konceptu budou analyzovány s ohledem na následující aspekty

- Kapacita vzdušného prostoru
- Letová efektivita
- Prostředí
- Pozemní infrastruktura

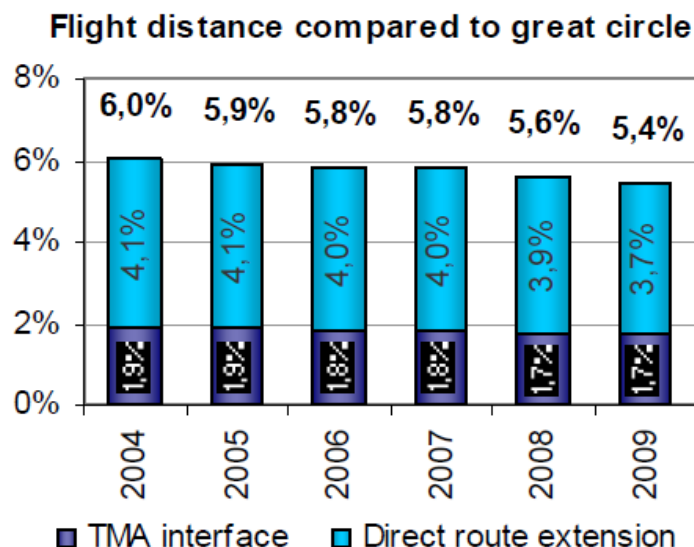
KAPACITA VZDUŠNÉHO PROVOZU

Na přelomu tisíciletí byla provedena analýza rozboru příčin zpoždění v jednotlivých fázích letu, ze které vyplývá, že 75% zpoždění vzniká při letu v cestovních hladinách, díky nedostatečné kapacitě vzdušného prostoru, vyplývající se systému pevných letových cest a přetížení stanovišť ATC. K překonání struktury letových cest slouží zavedení prostoru FFAS, ve kterém se letadla budou separovat samy na distributivním principu, čímž se překoná současný centralizovaný systém řízení letového provozu, který už dosáhl svého uživatelského maxima. Z provedených zkušebních testů vyplývá, že by se teoretický mohla hustota provozu až ztrojnásobit se zachováním plné provozuschopnosti nového konceptu. Tím by zavedení FF

Self-Separation vyřešilo všechny soudobé a očekávané problém s kapacitou vzdušného prostoru a kapacitou řízení letového provozu.

LETOVÁ EFEKTIVITA

Benefity zavedení FFAS jsou realizovány skrze konkrétní aplikace. Předběžné studie provedené v konkrétním prostoru, založené na porovnání letů dvou letadel, dokazují konkrétní výhody tohoto přístupu. Jedno letadlo letí se všemi výhodami vyplývajícími ze zavedení nového konceptu, druhé podle současných procedur platných v systému pevných letových cest a centralizovaného řízení ATC. Benefity bylo možno očekávat ve smyslu časové úspory a z ní plynoucí úspory paliva.



Obr.18 Porovnání vývoje délky letových tratí k přímým tratím=ortodrómy

ČAS A PALIVO

Navzdory faktu, že let vedený klasickou cestou probíhal takřka za nestandardních podmínek, kdy v letové cestě nebyl žádný konfliktní provoz a let nenabral žádné zpoždění ani z jiných příčin. Přesto výsledky testu odhalují nezpochybnitelný potenciál ve prospěch nového konceptu. I když rozdíl nebyl tak signifikantní, jaký by s velkou pravděpodobností byl za standardních okolností. Díky přímější trati došlo k významné úspoře paliva. Ztráta času při vyhýbání se konfliktním provozům ve FFAS je minimální a řádově se pohybuje v rozmezí sekund, což na trati dlouhé 120 NM představuje mizivý zlomek.

PROSTŘEDÍ

Ze zlepšené letové efektivity přímo vyplývá zredukování ekologické stopy zanechané výfukovými plyny z letadel v atmosféře. K tomu přispívá nejen kratší trajektorie, ale také celková optimalizace jeho profilu ve smyslu výšky a rychlosti. Hlukové výhody plynoucí z optimalizace letu je nutno dále přezkoumat. Vzhledem k faktu, že většina koncových oblastí je standardně řízený vzdušný prostor, a zavedení FFAS se v něm v nejbližší budoucnosti realizovat nebude, bude tato výhoda s velkou pravděpodobností zanedbatelná.

POZEMNÍ INFRASTRUKTURA

Co se týče investic na technologickou infrastrukturu, čerpá koncept Free Flight Self-Separation výhodu ze své podstaty, která je založena na distribuovaném systému. Z toho vyplývá, že náklady se rozdělí mezi jeho jednotlivé prvky, jak na zemi, tak ve vzduchu. Čímž se výrazně sníží nutnost investovat signifikantní prostředky do nové pozemní infrastruktury. [2]

5.2 Klíčové problémy

Ačkoliv zavedení FFAS přináší nesporné výhody, je zde několik aspektů, které je nutné přezkoumat

- Bezpečnost
- Pracovní zatížení posádky
- Individuální chování pilotů
- Systémová dostupnost a výkony
- Přechodové problémy

BEZPEČNOST

Pro přijetí nového konceptu je nutné, aby bezpečnostní prvek byl stejný a vyšší než u původního konceptu. Z toho plyne, že s rostoucí hustotou leteckého provozu, musí růst i bezpečnost. K objektivnímu posouzení bezpečnosti je potřeba provést nespočet srovnávacích simulací. K prvotnímu posouzení stačí porovnat „airborn separaton assurance“ koncept s původním „ground-based“ systémem zajištění rozestupů. Ze simulací vyplývají tři základní dopady na bezpečnost.

- „airborn separaton assurance“ koncept eliminuje časovou prodlevu vznikající při komunikaci mezi ATC a pilotem
- Eliminuje nutnost R/T komunikace za normálního provozu
- Značí, že při vyhýbání se konfliktním situacím se mohou vyhýbat oba letouny najednou

Poslední bezpečnostní výhoda závisí na konečném způsobu řešení konfliktů. Platí za předpokladu, že je použito nejvhodnější metody zvané „modified voltage potential“ Což je kooperativní metoda řešení konfliktů, používající implicitní koordinace. Ovšem mohou být použity i jiné metody s rozličným efektem na bezpečnost.

Jakkoliv ve FFAS je zodpovědnost za udržování rozestupů na straně posádky, ATC bude stále monitorovat dění v tomto prostoru a tím tvořit další bezpečnostní prvek. Rovněž systém TCAS jenž je a bude povinnou výbavou letounu, zabraňující srážkám letadel ve vzduchu bude zachován a tvořit další bezpečnostní síť. Kompatibilita se systémem zajištění rozestupů musí být přezkoumána.

PRACOVNÍ ZATÍŽENÍ POSÁDKY

Simulace provedené v rámci různých zkušebních programů dokazují, že dokonce i při trojnásobném zvýšení hustoty provozu a tím ztrojnásobení pravděpodobnosti konfliktu, nedochází k významnému růstu pracovního zatížení posádky, za předpokladu použití vhodných nástrojů.

INDIVIDUÁLNÍ CHOVÁNÍ POSÁDKY

Jedním z předpokládaných problémů konceptu s autonomním provozem je individuální chování pilotů. V centralizovaném systému letoví dispečeri dohlíží na provoz a chování pilotů. Ať záměrně či ne řídící představují jistou autoritu a tím důležitý bezpečnostní aspekt i z tohoto spíše psychologického pohledu. V distribuovaném systému je tato hierarchie méně evidentní a tím dává prostor pro nežádoucí reakce a chování pilotů. Důležitým faktorem je také občasné se vyskytující přehnané soutěžení mezi dopravci, které se může přenést i na palubu letadel. Zejména nastane-li konfliktní situace a obě či jedno letadlo se musí odklonit od své optimální trajektorie, je nutné, aby pravidla létání byla jednoznačná a jasně určovala povinnosti posádkám v jednotlivých situacích a nepřipouštěla individuální-možný výklad pilotů. [2]

TRANSITNÍ (PŘECHODOVÉ) PROBLÉMY

Na přechodové aspekty lze nazírat ze dvou základních úrovní:

PŘECHOD V ČASE: jde o časovou hodnotu (odhadem 10-15 let), ve které by mělo dojít k postupnému vybavování letadel a přechodu ze současného ATM prostředí, reprezentovaného řízenými (MAS) a neřízenými prostory (UMAS) k prostředí skládajícího se z MAS, UMAS a FFAS. Systém musí být nastaven tak, aby dopravce motivoval k zavádění technologií potřebných pro provoz v novém prostředí. Což znamená, poskytovat jim již od samého počátku výhody oproti provozu dle klasického scénáře, třeba v podobě úspory nákladů či času, což je hlavní provozní benefit implementace FFAS.

PŘECHOD VE VZDUŠNÉM PROSTORU: jsou všechny aspekty a procedury spojeny s přechodem z jednoho typu prostoru do druhého a naopak. Transitní efekt bude přítomen i v budoucím ATM prostředí, kde bude zaveden FFAS, ale s různým stupněm autonomie.

SYSTÉMOVÉ VÝKONY A JEHO DOPSTUPNOST

Za účelem realizace konceptu jsou aplikovány konkrétní požadavky na letadla (CDTI, ASAS) i na pozemní infrastrukturu (surveillance technology).

Jedním z klíčových požadavků konceptu je detekce konfliktních situací. Realizace tohoto prvku připadla na systém ADS-B a jeho informace o okolním provozu. Za účelem dosažení požadavků na minimální rozestupy je nutná znalost velmi přesných navigačních dat. Zde se klíčovým faktorem stává hodnota a rychlost aktualizace informací o provozu. Při zkušebních testech v oblasti středozemního moře byla rychlost aktualizace těchto informací nedostatečná, zejména pro oblasti s velkou hustotou provozu, kde neposkytovala dostatečnou datovou propustnost. Stejně tak i dosah těchto raných verzí systému ADS-B představoval spíše problematický prvek. [2]

5.3 Definování prostoru vhodných pro Free Flight

Dle dokumentu OCD vypracovaného organizací EUROCONTROL, popisující vývoj ATM prostředí v Evropě v příštích 20 letech, bude přidělování objemu vzdušného prostoru pro FFAS založeno na denní bázi vycházející z řídicích a plánovacích služeb ATM, reagující na poptávku ze strany uživatelů napříč vzdušným prostorem ECAC. Tento proces bude brát do úvahy předpověď hustoty letového toku, schopnosti letadel užívat nový koncept a vyvážení všech výhod pro všechny uživatele FFAS z pohledu flexibility a ekonomiky.

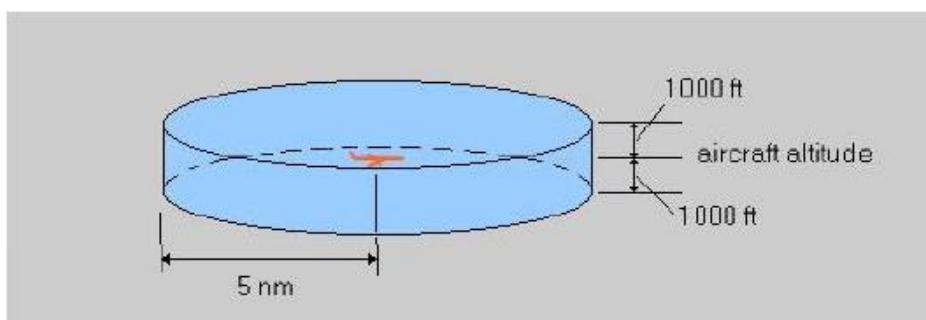
Méně vybavená letadla budou mít pouze omezený přístup do FFAS, což představuje hlavní motivační prvek pro provozovatele letadel, aby vybavili svá letadla na požadovanou technickou úroveň.

V bližší budoucnosti se nepředpokládá použití autonomních operací až po přistání na RWY. Takže letadla užíající prostor FFAS budou muset opět vstoupit do řízeného vzdušného prostoru (MAS). Bude nejspíš nutné vytvořit jistý druh tranzitního prostoru, kde letadla z poměrně neuspořádaného letového toku ve FFAS konvergují do organizovaného letového toku v MAS tak, aby řídící byli schopní bez potíží převzít přilétající (inbound) provoz z FFAS.

Rovněž se předpokládá využití vyšších cestovních letových hladin pro lety FFAS, které mají nespornou ekonomickou výhodu, zejména pro letouny typu business-jet. [2]

5.4 Separation minima ve FFAS

Konflikt v rámci konceptu Free Flight je definován jako potenciální narušení ochranných zón okolo letadla v blízké budoucnosti. Ochranná zóna musí zůstat prosta ostatních letadel. Tvar a rozměry ochranné zóny závisí na požadovaných separačních minimech. Při tvoření ochranné zóny pro Free Fight můžeme vyjít se základních požadavků ATC na rozestupy v oblasti s radarovým pokrytím. Ty mohou být převedeny na válec s poloměrem 5NM a výškou 2x1000ft na každou stranu od středu, ve kterém je umístěno letadlo. Viz následující obrázek.



Obr.19 základní rozměr ochranné zóny

Mnoho studií je a bylo věnováno určení vhodných velikostí rozestupů v rámci Free Flight. Některé optimistické studie uvádějí, že lze dosáhnout výrazně nižších hodnot než pro radarové rozestupy, argumentující daleko přesnější znalostí polohové informace o letadlech v prostoru a takto následně zvětšit kapacitu vzdušného prostoru. Zbývající studie uvádějí, že nelze rozhodně očekávat nižší rozestupy, než pro oblasti pokryté radarem, jakkoliv by byly určité nižší než rozestupy pro procedurální řízení. Zde je nutno vzít do úvahy konstrukce a výkonnostní parametry letadel, zejména jejich rychlost, kdy je nutno zachovat potřebný časový a prostorový rádius pro jejich manévrování a reakci posádky v případě potřeby. Z toho vyplývá, že v nejbližší budoucnosti lze očekávat hodnoty separačních minim pro Free Flight někde na úrovni těch radarových.

Samozřejmě v rámci Free Flightu lze teoreticky předpokládat, že velikost ochranných zón se může průběžně měnit během letu v závislosti na jeho rychlosti, fázi letu a hustotě provozu v dané oblasti a tím ještě zefektivnit využití vzdušného prostoru. Na současné technologické

úrovni by to představovalo spíše než cokoliv jiného, velké bezpečnostní riziko a komplikaci ve smyslu technické realizovatelnosti. [1], [2]

5.5 Rules of flight (Air) ve FFAS

Jak bylo zmíněno výše, v případě konfliktu dojde k potenciálnímu narušení ochranné zóny letadel v blízkém časovém úseku. Za účelem vyřešení tohoto konfliktu musí být stanoveny pravidla létání (rules of flight), které obsáhnou chování letadel během tohoto procesu. Tyto pravidla mohou být založena na dvou odlišných metodách a filozofiích, jejichž filozofické pozadí bylo hlouběji rozebráno ve 4. kapitole. Dva základní přístupy tedy jsou kooperativní metoda a metoda založená na použití prioritních pravidel.

KOOPERATIVNÍ METODA/PRIORITNÍ PRAVIDLA

Kooperativní metoda předpokládá, že v případě konfliktu obě letadla sdílejí „náklady“ na jeho vyřešení. Tím, že obě letadla manévrují, jsou obě posádky aktivně zapojeny do řešení konfliktní situace, tím vzrůstá „situační uvědomění“ a s ním i bezpečnostní aspekt celého procesu.

Prvním krokem při použití prioritních pravidel je určit, které z letadel má vyšší prioritu a tudíž má právo zachovat svoji původní trajektorii. Princip určení prioritního pořadí může být postaven na jejich vybavení, poloze či fázi letu.

Bylo vytvořeno několik realizací těchto metod založených na rozličných principech, ale vždy vycházející z podobné filozofie.

- Kooperativní metoda založena na týmech, v sobě ztělesňuje kooperativní řešení konfliktu v časovém rámci 10 až 30 minut dopředu a zahrnující optimalizační kritéria (váhu – míru účasti). Používá explicitní koordinace. V této metodě letadla zapojená do konfliktu tvoří týmy, které společně řeší konflikt a podstatou je minimalizovat celkové náklady na řešení pro tým.
- Metoda modified voltage potencial je založena na použití pravidel vycházející z její geometrie. Představuje tedy použití implicitní koordinace a je vhodná jak pro použití prioritních pravidel, tak kooperativního módu. Metoda tedy umožňuje dvojí přístup, což je velmi výhodné. Proto je zvolena jako optimální metoda pro komplexní řešení konfliktů.

Optimální přístup byl rozebrán ve 4 kapitole a tady jsou pro pořádek ještě jednou uvedeny jeho parametry:

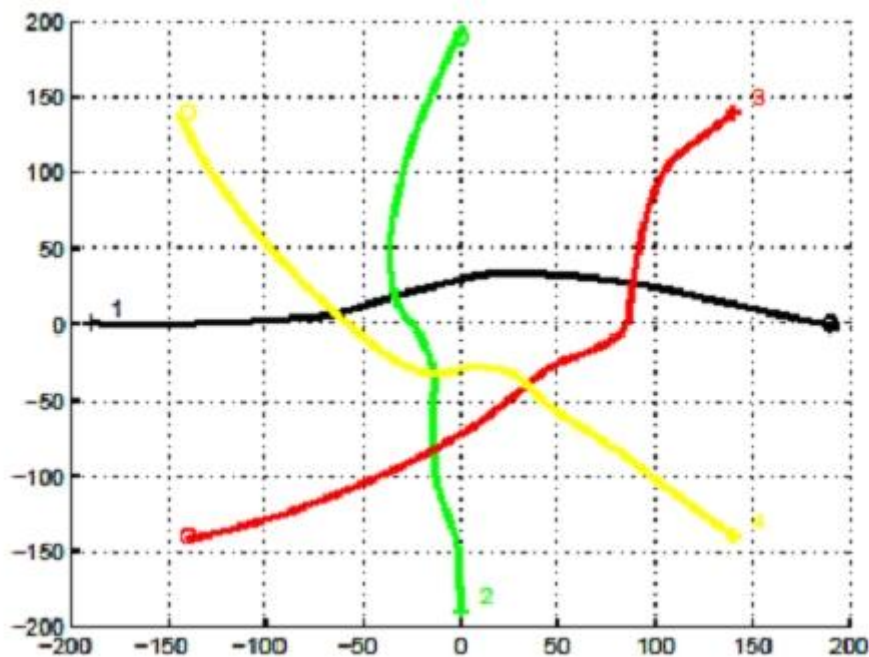
- Detekce konfliktů jak na základě znalosti aktuálního statutu letadla (4D poloh + trend vektor), tak na základě výměny informací o budoucí trajektorii z letového plánu či jeho části, nejlépe ze systému FMS. To umožní detekovat potencionální konflikty i 20 minut dopředu v čase.
 - v jednom z programů bylo úspěšně používáno výměny 128 bodů předpokládané „intent“ trajektorie + současný status „current state“.
- Řešení konfliktů založeného na prioritních pravidlech až do prahové hodnoty (implicitní)
- Manévr k vyřešení konfliktů je prováděn podle metody „modified voltage potencial“ beroucí v potaz výkonnostní parametry letadel
- Modified voltage potencial nabízí tři možnosti řešení konfliktu

- Změnou kurzu
- Změnou výšky (nejčastěji používané během simulace)
- Změnou rychlosti (včetně vertikální rychlosti při stoupaní/klesání)
- Letadlo, které nemá prioritu, musí manévrovat v souladu s metodou modified voltage potencial
- Letadlo mající prioritu může, pokud to posádka uzná za vhodné, manévrovat, ale jen v souladu s metodou „modified voltage potencial“, která umožňuje, aby se i posádka letounu s právem přednosti letu, chce-li, podílela na úhybném manévru.
- V případě, že nedojde k iniciaci řešení konfliktu do určité prahové časové hodnoty (trashold value), potom se celý koncept řešení konfliktu přepne do kooperativního modu. V tomto případě jsou již povinny manévrovat obě letadla zainteresovaná v konfliktu. Prahová hodnota byla po zkušebních pokusech nastavena na hodnotu 3 minut
- Koordinace/ potvrzení prioritního pořadí a samotné řešení konfliktu bude probíhat implicitně na úrovni systému.
 - Koordinace během konfliktu: koordinace/ potvrzování priorit bude prováděna implicitně pomocí společných dat ADS-B a společných algoritmů systému

Metoda v sobě kombinuje výhody obou přístupů, jak transparentnost prioritních pravidel, tak bezpečnostní aspekt metody kooperativní. [1], [2]

5.5.1 Single-conflict/multi-conflict

Více násobné konflikty jsou specifickým problémem, na jehož řešení pracují týmy po celém světě. Z důvodu rozsahu této práce se jimi širěji zabývat nebudeme, jakkoliv již na ně v textu bylo několikrát poukazováno. Vystačíme si s konstatováním, že na „multi-conflict“ se dá dívat jako na řadu jednoduchých konfliktů, alespoň z matematického pohledu. [15]



Obr.20 Trajektorie 4 letadel původně se protínající v jednom bodě

5.6 Role posádky

V oblasti obecného náhledu na vývoj rolí posádky již byly hlavní fakta několikrát zmíněny. Ve FFAS se odpovědnost za rozestupy přenáší na posádku. Ta toho dosahuje za pomoci systému ASAS, jenž jí umožňuje mít komplexní a úplný obrázek (situational awareness) okolního provozu.

Následující činnosti by měla posádka či systém ASAS vykonávat během letu ve FFAS.

- Udržovat situační povědomí
- Identifikovat konfliktní situace
 - Predikovat vlastní trajektorii v čase
 - Rozpoznat potencionální narušitele
 - Predikovat trajektorii narušitele
 - Předpovědět čas k místu nejbližšího setkání
 - Porovnat místo nejbližšího setkání s aplikovanými minimálními rozestupy
- Řešit konfliktní situace
 - Pro obě letadla zapojená do konfliktu
 - Zhodnotit konfliktní situaci
 - Určit kdo má prioritu
 - Generovat možnosti k vyřešení konfliktní situace
 - Letadlo s povinností manévrovat
 - Vybrat vhodný CR manévr vzhledem k vnějším faktorům (počasí, TSA, jiná letadla)
 - Provést tento manévr
 - Monitorovat průběh manévru dokud není konflikt vyřešen
 - Letadlo s právem v letu (s vyšší prioritou)
 - Před trashold-time value (prahovou časovou hodnotou) ztráty separace, jenom pokud posádka uzná za vhodné, může kooperativně manévrovat a podílet se na řešení konfliktu
 - Po trashold-time value, provést povinně kooperativní manévr řešící konflikt
 - Monitorovat průběh do vyřešení konfliktu
- Identifikovat a preventivně řešit potencionální konflikty. Posádka musí vědět, které z manévru vedou k potencionálním konfliktům [1], [2], [5]

5.7 Role řídicích letového provozu ve FFAS

V prostředí Free Flight se předpokládá minimální intervence ze strany ATC. Svoji původní roli budou nabývat jen za situací, kdy letadla nebudou schopna standartního provozu. Spíše než roli taktického řídicího budou ATCo vykonávat roli podpůrnou ve chvílích, kdy letadla nebudou sto dosáhnout potřebných separačních výkonů vlastním přičiněním. Dále budou poskytovat službu informativní při šíření zpráv důležitých pro let. Jejich uplatnění bude

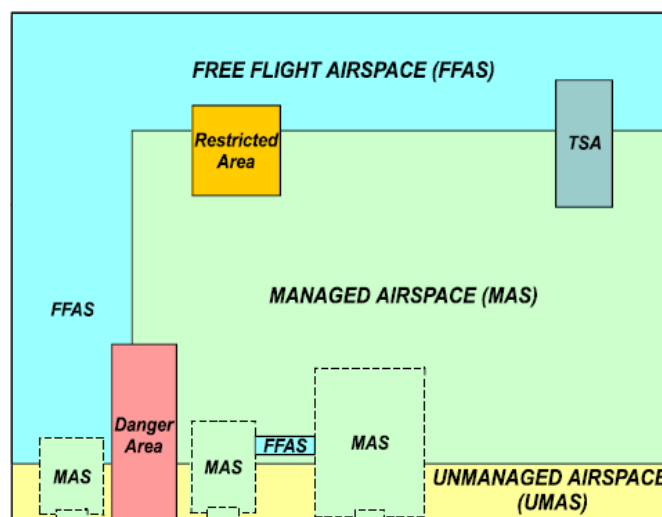
zejména během monitoringu hustoty provozu a poskytování potřebných procedur během přeletu z MAS do FFAS a naopak.

Problémy, kterým můžou ATCo čelit v prostorech FFAS

- Pracovní extrémy (přetížení, „podvytížení“)
- Změnu požadavku na řídících pro monitorovací úkoly
- Sřet zájmu pilotu a ATCo za zodpovědnost za rozestupy
- Nebezpečí dvojího nazírání na konflikt ze země a z paluby [1], [2], [5]

5.8 Přelety ve vzdušném prostoru

Záležitost přeletů (transition issue), při zavádění FFAS, vykazuje fundamentálnější charakter, než by se mohlo na první pohled zdát. Mimo to, že je nutné definovat pravidla a provozní procedury řešící průběh transitu, má rozložení dopravního toku do/z prostoru FFAS zásadní vliv na jeho design. Způsob vytvoření prostoru FFAS a jeho transitního prostoru ovlivňuje rovněž práci řídících v přilehlých řízených oblastech (MAS). Analýza přeletů musí vždy zvažovat dvě polohy a to je aspekt při vstupu do FFAS a při výstupu z něj.



Obr.20 implementace FFAS do současného vzdušného prostoru

Přechod letadel mezi zavedeným FFAS a ATM přilehlých oblastí by měl být předmětem řešení nejen taktických procedur v reálném čase, ale mělo by dojít k propojení i na poli předtaktickém, tedy strategickém a plánovacím.

„Transition issue“ je zejména momentem přechodu zodpovědnosti za separaci na palubu letadel při vstupu do FFAS a jejím návratem do rukou řídících dle starých pořádků při výstupu z prostoru FFAS.

Klíčovým faktorem bude poměr mezi rozestupy, požadovaných v přilehlých MAS prostorech a velikost minimálních rozestupů ve FFAS.

Dalším důležitým faktem je nepřítomnost systému pevných letových cest v FFAS. FFAS je obklopena strukturou letových tratí v přilehlých MAS oblastech. To znamená, že provoz bude

muset být bezpečně a efektivně de-strukturalizován v poměrně krátkém časovém horizontu tak, aby nevznikaly zbytečné konflikty hned po vstupu do FFAS. Na opačném konci vyvstává opačný problém, kdy je nutné z letadel letících libovolné tratě, udělat provoz vykazující strukturní potenciál navázat na systém pevných tratí.

Zde je možno zvážit zavedení tzv. tranzitních prostor, které by byly vytyčeny v horizontálních i vertikálních hranicích FFAS, čímž by mu ubíraly na objemu, ale ve kterém by se řešily výhradně problémy struktury a separací letového toku a neměly by do něho přístup ani letadla řešící konflikt uvnitř FFAS.



Obr.21 přechodová vrstva mezi FFAS a MAS

Zabránění konfliktu mezi vystupujícím a vstupujícím provozem může být uskutečněno podobným způsobem jako při vstupu a výstupu do prostoru RVSM a to zavedením Flight Level Orientation Scheme (FLOS). [1], [2]

5.8.1 Přelet z MAS do FFAS

Pro provoz v tomto směru bude důležitá práce ATCo ve smyslu plánování a regulace dopravního toku před vstupem do FFAS za účelem udržení prediktivního toku, splňující požadavky momentálního i budoucího prostředí na rozestupy.

Je tedy důležité, aby trajektorie byla tzv. conflict free trajectory, kde v určitém definovaném časovém horizontu po vstupu do FFAS nesmí provoz iniciovat žádnou konfliktní situaci. S tím je třeba počítat už při plánovací i strategické fázi. Proto je třeba definovat pravidla a procedury pokrývající provoz v přechodových fázích.

Míra komplexnosti závisí na vztahu poměru rozestupů k separačním minimum aplikovaným ve FFAS.

Přechod z radarem řízeného MAS

Řídicí musí zajistit, aby letadla měla už před vstupem do FFAS minimálně takové rozestupy, jako jsou separační minima ve FFAS. V podstatě je to analogie k dnešní přípravě letadel před vstupem do Oceánského prostoru. Kde letadla v přechodových oblastech, ačkoliv stále letící pod radarovým pokrytím, již zároveň splňují kritéria pro procedurální řízení, aplikované nad oceánem.

Z pohledu posádky bude trajektorie prostá jakéhokoliv konfliktu v určitém časovém rámci jedním ze základních požadavků pro vstup do FFAS. Samozřejmě vhodně pracující řídicí v transitiční fázi zamezí jakékoliv pozdější intervenci na taktické úrovni v prostoru FFAS a zamezí přetížení posádky v momentech, kdy mají svépomocí udržovat minimální rozestup od okolního provozu. V případech velmi vytíženého prostoru bude nutné nastolit určitý proces koordinace mezi posádkou a řídicími tak, aby i v těchto oblastech byl zajištěn hladký přechod do FFAS a splnění všech podmínek pro vstup do těchto prostor.

Přechod z procedurálně řízeného prostoru

Předpokládající mnohem větší rozestupy aplikované v procedurálně řízených oblastech, můžeme očekávat značnou redukci problému při přechodu do FFAS. [1], [2]

5.8.2 Přechod z FFAS do MAS

Přechod tímto směrem značí potřebu regulace, strukturalizace a separace letadel roztroušených po celém prostoru FFAS tak, aby letadla tento prostor opouštějící, mohly plynule navázat na systém pevných tratí v přilehlých MAS oblastech, se zodpovědností za rozestupy přenesenou zpět na stranu ATC.

Jakkoliv bude plně na zodpovědnosti posádky přejít z autonomní oblasti provozu do řízeného vzdušného prostoru dle platného letového plánu, intervence ze strany ATC je žádoucí. Před vstupem do MAS musí dojít k oboustranné komunikaci a případnému zásahu ze strany ATC, tak, aby letadlo mohlo dál plynule pokračovat v cestě MAS vyhovujícím způsobem pro obě strany s minimálním narušením provozu v MAS. Řídicímu bude v této problematice pomáhat vhodně navržený nástroj identifikující v předstihu možné konflikty při návratu letadel do systému letových cest. Při potencionálním konfliktu během transitu s provozem v MAS dojde ze strany ATC k udělování instrukcí týkajících se rychlosti, kurzy či výšky. V tom nejhorším možném scénáři je možné počítat se zavedením vyčkávacích obrazců v případě přeplněného vzdušného prostoru.

Podmínky pro vstup do MAS budou záviset na typu prostoru MAS. V případě, že separační minima ve FFAS budou nižší než minimální rozestupy požadované v MAS, budou podmínky pro vstup mnohem více restriktivní. [2]

5.8.3 Koordinace s přilehlými ATM oblastmi

Jak vyplývá z aspektů výše popsanych, je nutná spolupráce všech obklopujících ATM oblastí. Budeme-li se bavit konkrétně o prostoru evropském, tak ATM oblastí ECAC. S tím faktem, že let může ovlivnit i oblasti mimo ECAC. Zároveň je nutno vzít do úvahy i vojenské

operace. Zde všude bude nutná koordinace během taktické, strategické a plánovací fáze napříč příslušnými stanovišti. [2]

5.9 Kapacita FFAS - dopady na Air Traffic Flow Management (ATFM)

AFTM se týká zejména strategické fáze letu, kde rozhodující jednotkou je kapacita a propustnost vzdušného prostoru. Ve FFAS, kde letové cesty neznamenaají konečný kapacitní prvek, představuje nepřímou klíčovou roli pro určení kapacity vzdušného prostoru, schopnost posádky zajistit separace. Jde tedy o to, při jaké hustotě provozu je ještě posádka (ASAS-systém) schopna udržet minimální rozestupy aplikované v prostoru FFAS. [2]

5.9.1 Dopady na provozovatele letadel (AOS)

Dopady na provozovatele letadel jsou ve skrze pozitivní, jelikož jim bude umožněno podílet se na taktických rozhodnutích posádky během letu ve FFAS (př. Re-routing - přeplánování).

5.9.2 Dopady na vojenský provoz

Kromě dopadu na civilní provoz bude mít samozřejmě zavádění FFAS dopad i na provoz vojenský, zde je nutno zaměřit se na dva stěžejní aspekty

- Přístup vojenského provozu do FFAS
- Civil-military koordinace

Je tedy nutno zajistit, aby vojenská letadla mohla mít přístup do FFAS kdykoliv to bude nezbytné, ať už budou pro let ve FFAS vojenská letadla vybavena nebo ne či poletí podle GAT či OAT.

Jelikož vojenský provoz i provoz civilní sdílejí jeden vzdušný prostor, je mezi nimi nutný vysoký stupeň koordinace a to během všech fází (plánovacích, strategických i taktických).

Z pohledu civilních uživatelů vzdušného prostoru je tedy nutné, aby dostávali potřebná data pro ASAS systém (polohu, rychlost, záměr atd.) tak, aby posádka byla schopná zajistit minimální rozestupy i od vojenského provozu požadovaným způsobem a na druhou stranu je třeba poskytnout podobná data pro podobné účely vojenským letadlům, ať už bude odstup od okolního provozu zajištěn z jejich strany jakkoliv. Dále je nutné uvědomit posádky civilních letounů o všech aktivitách vojenských letadel ve FFAS (aktivace TSA atd.), které omezují či plně znemožňují free flight v dané oblasti. [2]

5.10 Plánování a ATFM ve FFAS

Vzhledem k procesu plánovacímu a k aspektu řízení toku letového provozu, jsou ve FFAS aplikovány následující procedury.

- Operátor může svůj let ve FFAS plánovat naprosto svobodně a s respektem k omezením jako TSA, SUA, tranzitní zóny a jiné.
- Vstupy a výstupy by měly být plánovány přes body vhodné k těmto účelům
- Operátor by měl předat svůj plán ATFM tak, aby řídicí byli schopni

- Získat komplexní představu o hustotě provozu ve FFAS
 - Uskutečňovat řízení letového toku při vstupu i výstupu z FFAS
- Operátor letadla by měl informovat ATC pokud dojde k signifikantnímu odchýlení od tratě či časového rozvrhu [2]

6 Technická realizace konceptu

Na dalších stránkách se budeme věnovat technologiím, které představují konkrétní realizace koncepce CNS/ATM a současně reprezentují technologický výsledek vývoje několika programů a konceptu na inovaci ATM prostředí. Z pohledu této práce je tím nejzásadnějším faktem, že potenciál těchto technologií byl rozpoznán i pro technickou realizaci konceptu Free Flight. Jde o tzv. Data-linkové technologie, především jejich aplikace ve formě závislého přehledu ADS, představující klíčové technické řešení systémových požadavků Free Flight konceptu ve všech jeho variantách. Práce na budoucím ADS-B systému je vedena a plánována skrze program SESAR v Evropě a NEXTGEN v zámoří. Jak již bylo několikrát zmíněno ADS a zejména varianta ADS-B je jedním z klíčových realizací k vytvoření budoucího pokročilého ATM prostředí tak, jak bylo stanoveno právě programem SESAR. Další inovativní technologií budoucího ATM prostředí je např. systém nazvaný Multilateration. Využívající všech signálů přicházející s letadel, jako je SSR Mode A/C i S, včetně signálu s ADS-B dopadající na různá stanoviště v rozličných intervalech odpovídající jejich vzdálenosti k letadlu. Na principu rozdílu rozličného časového příchodu signálu k pozemním stanicím se známou polohou, lze určit hyperbolicky velmi přesně polohu letadel v prostoru. Standardy a budoucí aplikace jsou rozvíjeny v rámci programu EUROCEA/RTCA. Základním vodítkem pro systémové požadavky na data-linkové technologie je dokument ICOA 9694.

6.1 Data-linkové technologie

Tyto technologie byly vyvíjeny jako jedno z řešení požadavků uživatelů a provozovatelů letových služeb na pokročilé vlastnosti budoucího systému řízení letového provozu a vzdušného prostředí vůbec. Data-linkové aplikace jsou vyvíjeny a povětšinou i implementovány na regionální úrovni. Implementace na globální úrovni je zpracována v kontextu programu CNS/ATM. Jednotlivé státy a letecký průmysl rozpracovávají a vylepšují technické specifikace letadel, jejich technické vybavení a další systémové komponenty nutné k úspěšnému zavedení data-linkových technologií. Rovněž obsah programů na harmonizaci a kompatibilitu všech prvků ATM prostředí by měly být vzaty do úvahy při návrhu, výrobě, certifikaci a implementaci data-linkových technologií.

Systém založený na data-linkových technologiích je charakterizován použitím

- Automatic Dependant Surveillance (ADS): závislého vzdušného přehledu
- Control-pilot data link communication (CPDLC): data-linkové komunikace
- Automatic provision of Data-link Flight Information Services (DFIS): automatické poskytování informací důležitých pro let cestou datového přenosu

Dále byly stanoveny minimální požadavky na počáteční schopnost navázání a udržení datového přenosu mezi palubou a pozemními stanovišti, zvané data-link initial capability (DLIC). Mezi pozemními stanovišti ATS je zavedena data-linková služba zvaná ATS interfacility data communication (AIDC).

Data-linkové technologie a koncept Free Flight se od jistého momentu vývojově proplétají. Výčet výhod plynoucí se zavedení data-linkových technologií je v podstatě systémovým popisem konceptu Free Flight. Proto je evidentní, že právě data-linkové technologie jsou použity pro jeho realizaci. Klíčovou technologií z pohledu Free Flight je aplikace Automatic Dependant Surveillance, zejména ve své variantě ADS-Broadcast.

ADS existuje ještě ve variantách ADS-Contract, umožňující navázat jistý druh virtuálního vztahu mezi pozemními stanovišti ATS a letadly. Vztahem je myšlena forma a obsah vysílání. Vysílat lze jakékoliv informace potřebné pro ATS či posádku a to periodicky, jen v konkrétní moment či jednorázově. Další verzí je ADS-Rebroadcast, sloužící k šíření informací potřebných pro let.

Další klíčovou aplikací data-linkových technologií, nejen z pohledu Free Flight, ale zejména z pohledu budoucího ATS prostředí, je obousměrná datová komunikace mezi piloty a řídícími tzv. Control Pilot DataLink Communication. Nahrazuje rutinní radiovou komunikaci, která je časově náročnější a více zatěžující frekvenční pásma.

Služba označována v rámci předpisu Doc. 9694 Data Link Flight Information Services, představuje šíření informací důležitých pro let data-linkovou cestou. Jsou to zejména meteorologické informace a informace týkající se situačního přehledu posádky v zájmovém okolí jejich letu, tím přispívají ke zvýšení celkové bezpečnostní úrovně. Většina těchto zpráv je posádce v současnosti předávána hlasovou cestou. Použitím data linku dojde k implementaci a zobrazování těchto a dalších informací velice pokročilým způsobem. Budou v sobě sdružovat služby, které jsou dnes šířeny velice „roztříštěným“, způsobem:

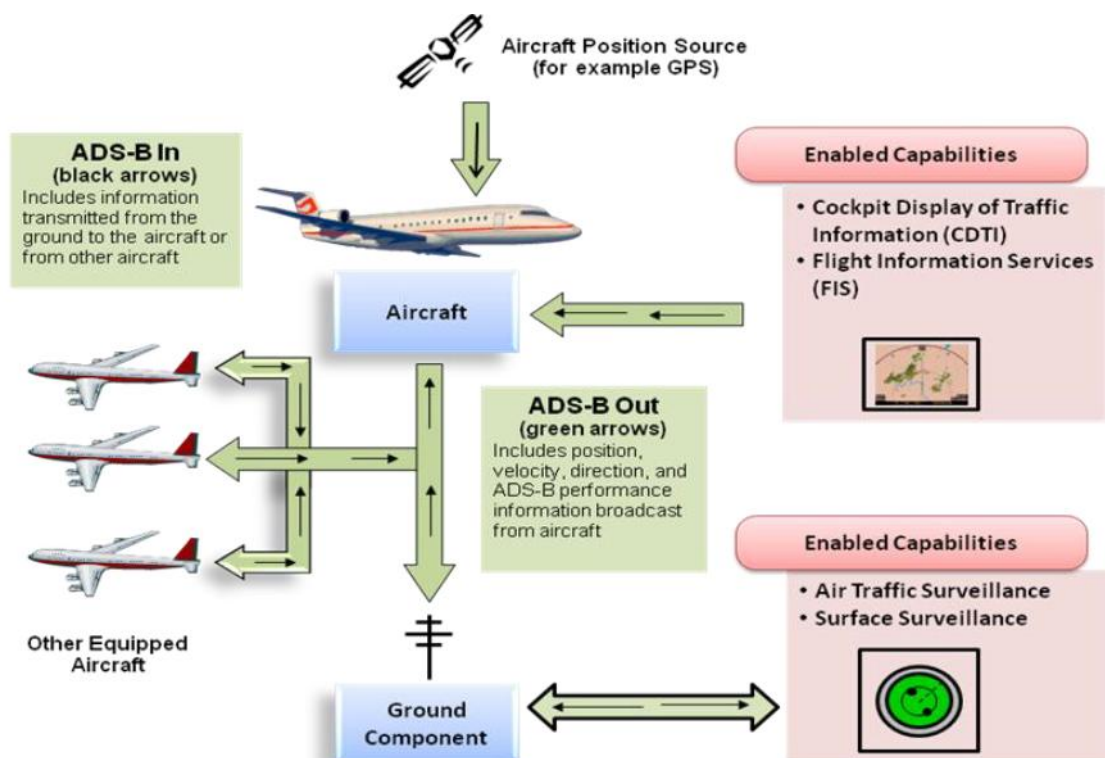
- Automatic terminal information services (ATIS)
- Aviation routine weather report (METAR) services
- Terminal weather services (TWS)
- Windshear advisory services
- Pilot report services
- Notice to airman (NOTAM)
- Runway visual range (RVR)
- Aerodrome forecast (TAF)
- Participation map service
- SIGMET service

Data-linkové aplikace jako DLFIS a CPDLC, stejně jako ADS, jsou samozřejmě implementovány v rámci konceptu budoucího jednotného ATM prostředí. Dále se budeme zabývat systémem ADS-B jenž takové budoucí prostředí realizuje a jehož výše jmenované aplikace jsou nedílnou součástí v konkrétní podobě, většinou pod lehce modifikovaným názvem. [3], [4]

6.2 Automatic Dependant Surveillance –Broadcast (ADS-B)

ADS-B významně zlepší situační přehled pilotů i řídících, značně zpřesní navigační údaje o provozu ve vzduchu i na zemi, čímž otevře nové možnosti v zajišťování rozestupů mezi letadly, jak radarem pokrytých území, tak zejména radarem nepokrytých oblastí. Fakt, že piloti i řídící budou mít k dispozici v podstatě stejný obrázek „dopravní“, situace, umožní významné změny ve způsobu uplatňování a zajišťování rozestupů a v konečném důsledku umožní úplný přenos zodpovědnosti za rozestupy na palubu letadel.

ADS-B je data-linkový systém ve kterém avionika na palubě letadel vysílá informace o své poloze a další informace přijímačům na zemi a v letadlech jimi vybavenými. Toto data-linkové propojení nabízí velké možnosti využití jak ze strany ATC, tak ze strany uživatelů vzdušného prostoru, jak ukazuje následující obrázek.



Obr.20 Schéma ADS-B [3]

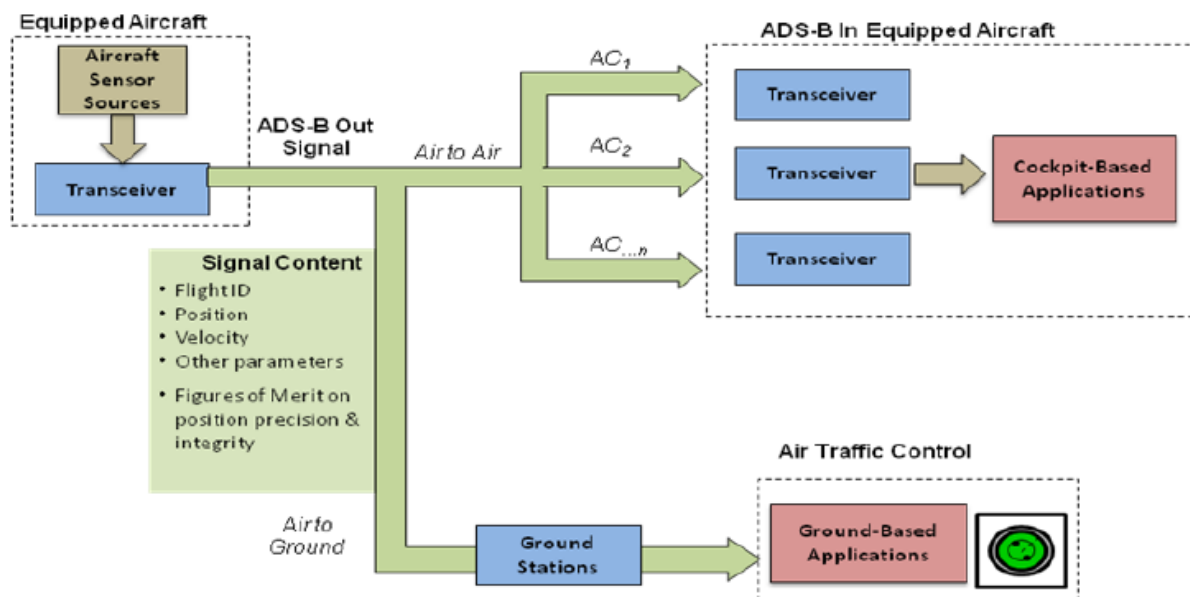
6.2.1 ADS-B systém

ADS-B se skládá ze dvou základních algoritmů a to ADS-B Out a ADS-B In. ADS-B Out umožňuje letadlu periodicky vysílat informace, týkající se vlastního letu okolním letadlům či pozemním stanovištím ATS ke zpracování. Jsou to informace o přesné poloze v prostoru, rychlosti, záměru, identifikaci a další. Doména ADS-B in, značí schopnost tyto informace zachytit, zpracovat, vyhodnotit a zobrazit uživateli v optimální podobě. ADS-B In dále umožňuje přijímání dalších „doplňkových služeb“ ve svém rámci vytvářející velice komplexní systém, povětšinou nahrazující služby doposud šířené hlasovou cestou. Jsou to zprávy týkající se bezpečnosti letu Flight Information Services-Broadcast (FIS-B zahrnující předpovědi počasí, METAR, TAF, RVR, NOTAM atd). Další službou šířící se v rámci těchto protokolů jsou informace o provozu Traffic Information Services –Broadcast (TIS-B). Jsou to informace týkající se provozu v okolí uživatele letounu, které jsou nějakým způsobem zajímavé pro jeho let a zlepšují situační přehled uživatelů vzdušného prostoru. Jsou do nich také zahrnuty informace o letadlech, které nejsou vybaveny systémy ADS-B, ale jsou zachyceny sekundárními či primárními radary na stanovištích ATS. Tím tvoří velice důležitý bezpečnostní prvek. Těmito prostředky se můžou rovněž šířit informace o turbulencích v úplavu jednotlivých letadel a z nich vyplývajících úprav rozestupů. [3]

6.2.2 ADS-B Out

Tak jak je znázorněno na obrázku, letadlo využívající systém ADS-B Out periodicky vysílá svojí vlastní pozici a ostatní informace přes palubní zařízení zvané transceiver. ADS-B signál může být zachycen pozemními stanicemi poskytující informace ATC a letadly vybavenými systémem ADS-B In. Vysílaný signál zahrnuje informace o identifikaci letadla, poloze a rychlosti v prostoru a různorodé výkonnostní parametry. Standardy pro tyto informace se

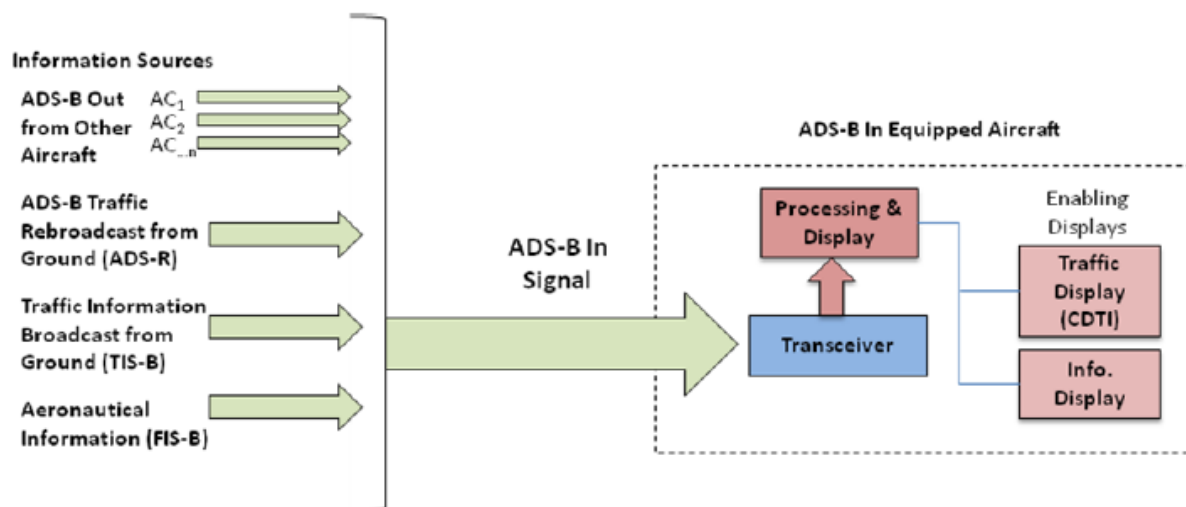
vyvíjely a testovaly po dlouho dobu a dnes jsou již standardem. Zavádění protokolů ADS-B Out sebou nese zavedení konkrétních provozních standardů na vybavení zajišťující funkci systému ADS-B. Tyto požadavky by alespoň částečně měly ulehčit pozdější nástup systému ADS-B In s vyšším stupněm užitečnosti pro uživatele vzdušného prostoru, tím však větší náročnosti na jeho vybavení. [3]



Obr.21 schéma ADS-B Out informace [3]

6.2.3 ADS-B In

Schopnost přijmout ADS-B signál ze země či jiného letadla, zpracovat, vyhodnotit a předložit ho posádce je nazývána jako systém ADS-B In. Jak vyplývá z obrázku, letadlo může přijmout signál z mnoha zdrojů. Získat nějaký benefit z používání ADS-B vyžaduje zpracování jeho signálu a integraci se zobrazovací jednotkou letadla. Zpracovaný signál může mít formu rozhodnutí přicházející z nějaké logické posloupnosti, generující varování nebo poskytující širší vedení pro bezpočet uživatelských aplikací. ADS-B In tak dovršuje potenciál, který v sobě nabízí ADS-B Out.



Obr.22 schéma ADS-B In informace [3]

Následující přínosy ADS-B, manifestující se v jeho aplikacích, jsou identické se systémovým popisem jednotlivých aplikací konceptu Free Flight. Čímž je systém ADS-B opět předurčen jako klíčový pro jeho realizaci.

Ve své základní úrovni by systém ADS-B měl vylepšit situační přehled posádek o ostatních letadlech v okolí. Dalším krokem je umožnit posádce udržovat vizuální rozestupy v marginálních podmínkách. Později udržovat snížené rozestupy za jakýchkoliv podmínek přístrojového létání IMC a takto zvýšit kapacity vzdušného prostoru i během méně než optimálních dohledností, což je hlavní problém vzdušného prostoru, téměř kdekoli na světě. Dalšími aplikacemi jsou (podobně jako u Free Flight) aplikace pro míjení letadel (passing), zlepšení manévru k vytvoření rozestupů při řazení se na přistání (spacing) pro lepší prediktibilitu příletů letadel. Budoucí aplikace mohou zahrnovat vylepšení paralelního dráhového provozu, zúžení letových cest, pokročilé „crossing a passing“ aplikace a vytvoření tzv. flow corridoru.

ADS-B přispěje ke vzrůstu bezpečnosti v letectví a zároveň dovolí snížit rozestupy mezi letadly, čímž vzroste kapacita prostoru.

ADS-B In aplikace ustanovují požadavky na určité podsystémy k podpoře rozšířených funkcí. Rovněž pro vizuální výstup aplikací musí být stanoveny, příslušnými autoritami, standardy pro jeho výrobu a provoz. [3], [10], [17]

7 ADS-B – Technické požadavky

Technologické zajištění systému ADS-B se v rané vývojové fázi na obou stranách Atlantiku lišily. Na americké straně se vycházelo z již existující data-linkové technologie nové generace odpovídačů SSR Modu S a zařízení zvané Universal Access Transciever (UAT) pracujících v pásmu UHF (Ultra krátké vlny). V Evropě nabral vývoj technické realizace ADS-B a ostatních data-linkových služeb poněkud jiný směr. Bylo rozhodnuto, že v podstatě celý systém bude vystavěn na zařízeních pracujících v pásmu VHF (Velmi krátké vlny). Tato technologie se nazývá VHF Data Link Mode 4 (Mode 4 byl určen pro realizaci systému ADS-B). VDL Mode 4 technologie pracuje s kanály o šířce 25KHz v pásmu 108 MHz - 117.975 MHz. Pro udržení vzájemné kompatibility programů NEXTGEN a SESAR, zejména kvůli mezinárodním transatlantickým letům, došla v roce 2003 organizace ICAO k rozhodnutí tyto technologie do budoucna sjednotit. Jako perspektivní realizace systému ADS-B byla vybrána organizací ICAO americká technologie, založená na upraveném odpovídači Modu S a Universal Access Transcieveru. Pro data-linkovou komunikaci CPDLC byla pro Evropský vzdušný prostor vybraná technologie VHF Data Link Mode 2.

Konkrétnější rozbor vybavení je založen zejména na výstupech z programu NEXTGEN v USA, který jako první tyto informace týkající se technické specifikace zveřejnil. [3], [10], [13], [15], [17]

7.1 Palubní vybavení

Celý ADS-B systém je tedy vystavěn na data-linkové technologii ve spojení s dalšími palubními systémy. Upravený odpovídač pracující v pásmu 1090MHz nebo UAT pracující na frekvenci 978MHz umožňující data-linkový přenos, jsou spojeny s vysoce integrovanou navigační technologií GNSS (existující realizace GNSS jsou systémy GPS, GALILEO a GLONAS). Dalšími technikou relevantní pro využití ADS-B signálu je výpočetní jednotka sloužící jako systém zpracování dat a samozřejmě zobrazovací jednotka. [15], [17]

7.1.1 Data-linkové technologie

Schopnost ADS-B Out je technicky zprostředkována skrze transpondér propojený s relevantní avionikou jako je GNSS, tlakový výškoměr a další. Zejména z ekonomických důvodů se standardem pro velké dopravní letadla stal odpovídač typu 1090ES (Extended Squitter). Jedná se o softwarově upravený transpondér modu S. Mnoho letadel má už základ tohoto odpovídače instalován. Byl povinnou součástí balíčku instalací, související s pokročilým přehledem, realizovaným u odpovídačů pracujících v Modu S. Jako takový je povinnou výbavou v Americkém i Evropském vzdušném prostoru. Tento přístup by měl snížit náklady na pořízení minimálního vybavení pro Free Flight. Nevýhodou je další zatížení už tak přeplněného pásma v oblasti kolem frekvence 1090Mhz, kterou zároveň využívají odpovídače pracující v modu A/C a systém TCAS. Délka odpovědi transpondéru 1090ES je 112bitu, což je dvojnásobek standardní délky klasického odpovídače (56bitu). I přesto trvá téměř 5 sekund poslat úplný řetěz jedné ADS-B zprávy. Navíc tato technologie není obousměrná, tudíž neumožňuje využití služeb jako FIS-B.

Schopnost ADS-B In již vyžaduje obousměrné vysílání. První certifikovanou technologií, která to umožňuje, je speciální zařízení zvané Universal Access Transciever (UAT). Díky dvousměrnému kanálu umožňuje přijímat data z ostatních letadel a pozemních stanic. Jsou to

informace a data potřebná pro ASAS systém a služby jako aktuální počasí či FIS-B. Díky větší účinnosti UAT je možno simultánně podporovat větší počet uživatelů. V Americkém vzdušném prostoru se UAT stal standardem pro malá letadla Všeobecného letectví pod výškou 18 000ft. Nevýhodou je fakt, že se jedná o další technologii, kterou je nutno fyzicky instalovat na palubu letadel. Na rozdíl od odpovídače 1090ES, který vyžaduje pouze softwarovou úpravu odpovídačů modu S. UAT je ovšem budoucností systému ADS-B a v blízké budoucnosti se stane celosvětovým standardem, nabízející mnohem větší potenciál pro rozvoj.

Další nutné vybavení pro využití ADS-B In algoritmu je systém zpracovávající data (Traffic computer) a nějaký druh HMI zobrazovací jednotky schopnou graficky zobrazit okolní provoz, známou jako CDTI – Cockpit Display of Traffic Information.

Provoz ADS-B samozřejmě vyžaduje certifikaci a schválení operačního provozu příslušnými leteckými autoritami. [13], [15], [17]

7.1.2 Příjímač signálu z GNSS

Vedle data-linku je dalším klíčovým zařízením přijímač GNSS signálu. Spolehlivost a výkonost GNSS systému je v současnosti vysoká, zejména ve spojení s pokročilými modifikacemi. Pro většinu ADS-B aplikací je nutný GNSS přijímač vylepšený o modifikaci kosmického segmentu satelitního systému SBAS - WAAS, aplikované na široké území (na evropské úrovni je takovým příkladem systém EGNOS) nebo nevylepšený GPS přijímač splňující parametry WAAS přijímačů.

Přijímač GNSS signálu, pracující pro ADS-B, musí být plně integrován do systému FMS nebo NMS (Navigation Management System). Jakýkoliv příruční GPS přijímač nebo necertifikovaný přijímač nesplňuje integrační úroveň pro letecké aplikace a vnáší nebezpečné a nepřesné informace do celého systému.

Co se týká data-linkové technologie pracující přímo pro ADS-B, jde zejména o tzv. Universal Access Transceiver (UAT). Zařízení pracující v pásmu 978MHz, je volitelné a poskytuje plný přístup ke všem službám ADS-B, jako je FIS-B a TIS-B. Druhým je zařízení povinné pro letadla letící nad 18000ft, pracující na frekvenci 1090 speciálně upravené tak, aby neinterferovalo se standardním odpovídačem SSR. Toto zařízení poskytuje pouze omezený přístup ke službám v rámci ADS-B systému.

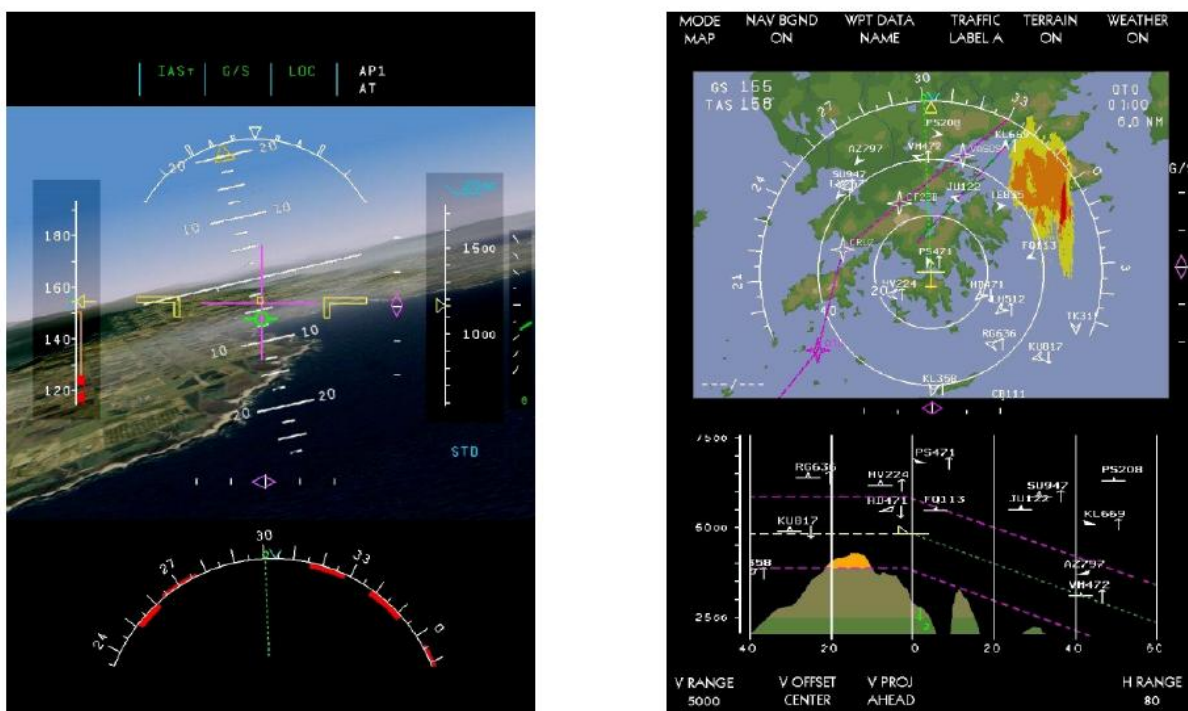
Pokud UAT pracuje na frekvenci 978 MHz, má alespoň v rámci Amerického národního vzdušného prostoru (National AirSpace), zdarma zajištěn přístup k informacím o počasí a ostatním provozu, vysílané pozemními stanicemi v rámci protokolů TIS-B a FIS-B.

Samozřejmě je nutné k těmto zařízením přičíst antény schopné zachycovat signál v příslušném pásmu. [13], [15], [17]

7.1.3 CDTI (Cockpit Display of Traffic Information)

Dalším klíčovým komponentem technické realizace na palubě je zobrazovací rozhraní, tvořící komplexní a přehledný výstup nejen pro ADS-B. Nejvíce studii se přiklání k implementaci CDTI do navigačního displeje s určitým přesahem do primárního displeje (no-go zóny). Moderní zobrazovací jednotka v sobě sdružuje výstup ze všech systémů letadla (letových, navigačních, bezpečnostních), musí být schopna zobrazovat informace s letového plánu,

standartní letové data (rychlosti, kurzy, výšky atd), mapy, informace o počasí a okolním provozu jak v horizontální tak vertikální rovině, navíc podložené pohybujícími se mapami i ve 3D zobrazení jak ukazuje následující obrázek. [1], [17]



Obr.23 možná podoba budoucích displejů s implementovanou informací o provozu [1]

7.1.4 Minimální vybavení pro vstup do FFAS

Minimálním vybavením pro pohyb v prostoru FFAS je zařízení se schopností ADS-B Out a ADS-B In. [13]

7.2 Pozemní infrastruktura

Zásahy do pozemní infrastruktury budou minimální, značí především vhodné rozmístění ADS-B ground station (pozemní stanice), které umožní duální data-linkovou komunikaci mezi letadly a ATM systémy na zemi a budou zprostředkovávat doplňkové služby FIS-B a TIS-B. Ground station je navržena tak aby sloužila třem typům provozu:

- Traťový (En-route)
- Koncové oblasti (Terminal area)
- Plocha letiště (Airport surface)

Pozemní stanice se skládá z Universal Access Transceiver (UAT) antén a čtyř-sektorálních 1090ES (extended squitter) antén a komunikačního zařízení pro spojení s letadly pracující s duálními frekvencemi.

Technický se jedná v podstatě o úpravu technologie transpondéru Modu S (extended squitter), dnes sloužící sekundárním radarům. [13], [17]

7.3 Dosah ADS-B signálu

Dosah signálu je ovlivněn tzv. funkcí přímé viditelnosti (mezi vysílačem a přijímačem nesmí být žádná překážka), která je závislá na výšce a rozmístění antén, výšce letu a terénu. V souladu s touto logikou se tedy efektivní dosah signálu ADS-B vyslaného z letadla na jiné letadlo mírně liší od dosahu signálu putujícího na zem.

Air-to-Air: 170 - 200 nautical miles (270 - 320 Km) pro UAT.

Air-to-Ground: 180 nautical miles (288 Km) pro vysoko letící „cíle“

I když je v teoretické rovině dosah UAT a 1090 ES v podstatě totožný, prakticky je dosah 1090 ES nižší, kvůli přetížení tohoto frekvenčního pásma [13]

7.4 Současná cena vybavení

Uvedené ceny jsou orientační, získané průzkumem nabídky firem, která již nabízejí tyto technologie ve svém sortimentu, převážně v USA.

Garmin GDL-90

ADS-B Universal Access Transceiver (UAT)



- Kombinace UAT a GPS certifikovaných sensorů
- TSO C154 Universal Access Transceiver
- TSO C145a WAAS certifikovaný GPS sensor
- Pracuje na frekvenci 986Mhz, umožňuje přístup k službě TIS-B

Cena: \$6,989.00

Garmin GTX-330 with Extended Squitter

Mode S, IFR-certifikovaný Transponder/Extended Squitter



- GTX 330 transpondér, jedná se o softwarově upravený transpondér modu S umožňující data-linkové spojení
- Umožňuje přístup k ADS-B, na frekvenci 1090Mhz
- Grafické rozhraní

Cena: \$4,489.00

FreeFlight Systems RANGR FDL-978-TX
978MHz ADS-B Datalink



- Kombinuje TSO-C145 (UAT)/C146 WAAS GPS
- Představuje cenově dostupné a váhově lehké vybavení, umožňující plnou integraci pro letadla Všeobecného letectví do prostředí se systémem ADS-B, v Americe letících pod výškou 18 000fts.
- Umožňuje přístup k službám TIS-B a FIS-B

Cena: \$3,529.00

8 Nástin procesu aplikace „Free flightu“ v Evropě

Aplikace konceptu Free Flight Self-Separation v Evropě je velice komplexní operace. Jedná se o dynamický proces, který je přímo či nepřímo závislý na mnoha faktorech, jejichž vliv se liší v závislosti na konkrétním místě aplikace.

Jak již v textu několikrát zaznělo, momentální využití konceptu je velice omezené. Důvodů je několik. Prvním je, že technologie zodpovědné za realizaci Free Flightu ještě nedosahují potřebných výkonnostních parametrů a kapacity. Dalším čistě pragmatickým důvodem je rozvaha při raném procesu implementace nového konceptu, u kterého se začíná v těch nejmeně rizikových oblastech, aby se v praxi ověřila jeho funkčnost a spolehlivost.

Další důležitou informací je fakt, že Free Flight Self-Separation koncept je primárně určen pro traťové lety. Proto nelze počítat z jeho aplikace v prostorech typu TMA a CTR.

8.1 Kapacita systému ASAS

Ústředním bodem a zároveň limitním faktorem procesu aplikace je kapacita systému ASAS. Zatím nebyla specifikována číselně, jelikož je to proces nad míru složitý. V té nejobecnější rovině je kapacita jakéhokoliv systému odvozena z jeho výkonnosti. Kapacita systému ASAS je tedy definována na základě výkonnostních parametrů jeho technické realizace a vlivu relevantních faktorů.

Výkonnostní faktory definující teoretickou výchozí kapacitu systému ASAS

- Schopností CD&R modulu řešit více konfliktů na jednou za pomoci vhodných matematických či geometrických metod
- Výkonnost systému ADS-B jakožto šířitele potřebných dat a informací pro CD&R modul a podpůrné systémy (šířka datového toku, rychlost aktualizace dat a efektivní dosah)

Dále je nutno zohlednit vliv relevantních faktorů, které přímo či nepřímo ovlivňují reálnou hodnotu výchozí kapacity

- Relevantní faktory
 - Minimální technická úroveň vybaveností letadel pro lety ve FFAS (jakákoliv lepší má pozitivní vliv na kapacitu ASAS)
 - Minimální Navigační výkonnost potřebná pro lety ve FFAS (vyšší navigační výkonnost letadel ANP, umožňuje aplikovat na prostory FFAS přísnější navigační požadavky RNP – což značně ovlivňuje kapacitu ASAS)
 - Průměrná časová hodnota odezvy posádek při řešení konfliktu (svižná reakční doba posádek při řešení konfliktu, ovlivňuje pozitivně výkonnostní parametry ASAS, tudíž i kapacitu ASAS)
 - Průměrná rychlost letadel (vyšší rychlost letadel zkracuje dobu do konfliktu a tím klade vyšší nároky na výkonnost ASAS)

Tyto vlastnosti definují či ovlivňují výchozí kapacitu systému ASAS. O její stanovení se pokoušeli vědci z NRL v Amsterdamu. Přesněji řečeno, za pomoci modelových simulací založených na agentovém přístupu a za použití simulační metody Monte Carlo dokázali, že vylepšený systém ASAS tzv. Advanced ASAS je, za dodržení určitých podmínek, schopen si poradit až s 3x větší hustotou provozu než byla v roce 2005.

Tato obecná, teoreticky určená, výchozí kapacita systému ASAS, je na úrovni lokální implementace, silně ovlivněna vnitřními i vnějšími faktory, jejichž vliv se dynamicky mění v závislosti na prostředí a podmínkách v konkrétním místě aplikace. Proto je pro každou aplikaci nutné určit specifickou kapacitu systému ASAS, která zahrnuje všechny obecné i konkrétní prvky a faktory.

Vnitřní faktory jsou takové, které interně ovlivňují základní výkonnostní parametry ASAS v konkrétním místě realizace

- Kvalita a způsob provedení technické realizace systému ASAS v konkrétní lokalitě, ovlivňující efektivní dosah, dostupnost a kvalitu signálu pro ADS-B
 - Technická úroveň vybavení letadel v dané lokalitě, relevantní pro ASAS systém
 - Počet a způsob rozmístění pozemních stanic ADS-B a jejich úroveň vybavení
- Míra odlišnosti relevantních faktorů od těch předpokládaných v konkrétním místě realizace

Vnější faktory byly odvozeny od charakteru a struktury prostředí a provozních podmínek, ve kterých je Free Flight Self Separation realizován. Některé mají vliv na kapacitu, některé přímo na design FFAS prostoru, který rovněž s kapacitou souvisí, jelikož určuje stupeň její využitelnosti.

- Struktura a charakter ATM prostředí v místě realizace konceptu
 - Struktura a charakter ATM prostředí a jeho okolí má vliv na samotný design FFAS, na jeho tvar a velikost. Pokud je FFAS příliš malý, nebude v něm prostor pro projevení plného výkonnostního a kapacitního potenciálu ASAS systému.
 - Design přechodových pásem: Struktura letových cest spolu s charakterem provozu v přilehlých MAS oblastech definuje parametry přechodových pásem MAS/FFAS (Transition layer) a určuje polohu vstupních a výstupních bodů do FFAS. Kvalitní návrh přechodových pásem spolu s efektivními transitsními postupy, můžou urychlit přechody letadel z MAS do FFAS a naopak. Špatně navržený transitsní systém může představovat kritické místo celého systému, v němž se budou nově manifestovat kapacitní problémy.
- Struktura a charakter provozu v místě aplikace
 - Druh dopravy a jeho charakteristika: Velké dopravní letouny jsou z kapacitního hlediska FFAS méně výhodné nežli malé, obratné a technicky dobře vybavené bussines-jety. Těch lze „ubytovat“ ve FFAS za určitou časovou jednotku mnohem více

- Míra přítomnosti vojenského provozu: je nutno je koordinovat s civilním provozem, což ubírá z celkové kapacity prostředí i ASAS systému
- Počet a velikost dočasně rezervovaných prostor TSA: ubírají z velikosti FFAS, tím snižují kapacitu
- Provozní podmínky v místě aplikace
 - Stěžejní provozní podmínkou je hustota provozu: Každé další přibývající letadlo ve FFAS snižuje kapacitu ASAS systému až ke kritické hodnotě. Proto je nutno zajistit, aby nebylo kritické hodnoty nikdy dosaženo. Je třeba stanovit limitní kapacitu provozu a z ní odvodit limitní hustotu provozu, kterou je systém ASAS s jistou bezpečnostní rezervou ještě schopen zvládnout.

8.1.1 Výkonnostní parametry systému ASAS (ADS-B) a jejich vliv na kapacitu

Z technického hlediska jde při aplikaci Free Flightu především o výkonnost ASAS systému zajišťujícího rozestupy a zejména jeho kapacitu. Slovo kapacita v tomto případě znamená: kolik letadel je systém ASAS schopen fyzicky zvládnout najednou v místech svého efektivního dosahu.

- Efektivní dosah je vzdálenost, ve které má ještě signál všechny potřebné parametry nutné k jeho správnému využití příslušným systémem.

Dalším výkonnostním parametrem, který má přímý vliv na kapacitu, je rychlost aktualizace dat potřebných pro zajištění rozestupů. Rychlost aktualizace je přímo závislá na šířce datového toku, neboli množství dat, které je systém schopen přenést za určitý časový interval. Vraťme se k rychlosti aktualizace dat, značící: kolikrát za příslušný čas, dojde k obnově dat o okolním provozu.

- Například kolikrát do minuty má systém k dispozici skutečné momentálně aktuální informace o reálné situaci v provozu.

Rychlost aktualizace v přeneseném významu v podstatě vyjadřuje časový interval poklesu důvěryhodnosti dat. Čím delší interval je mezi obnovou dat, tím je delší doba degradace informace. Na konci intervalu je věrohodnost dat nejmenší a nejvíce se vzdaluje reálné skutečnosti až do chvíle příchodu informace nové. Je zřejmé, že pokud je tento interval příliš dlouhý, nelze nechat vysoký počet letadel „bloudit“ prostorem bez reálné a aktuální znalosti momentálních poloh, rychlostí a záměrů ostatních letadel.

Půjdeme-li do extrému, tak ani moment příchodu nové informace, už nevyjadřuje reálnou situaci provozu v prostoru, díky času potřebnému pro šíření signálu a jeho zpracování ve vnitřních obvodech systému. Vzhledem k obrovskému rozdílu mezi rychlostí šíření elektromagnetického signálu (300 000Km/s) a rychlostí letadel (0,277Km/s), je možno časové zpoždění informace zanedbat.

8.1.2 Hodnoty výkonnostních parametrů ADS-B

Při zkušebních pokusech ve Středozeří (Mediterranean Free Flight Trials v roce 2005) byla největší překážkou rychlost aktualizace vysílané/přijímané informace za jednotku času (1krát/6s) a efektivní dosah systému ADS-B, který byl pod hodnotou 100Km.

V současnosti je efektivní dosah na těchto hodnotách.

Air-to-Air (paluba-paluba): 170 - 200 nautical miles (270 - 320 Km) pro UAT.

Air-to-Ground (paluba-země): 180 nautical miles (288 Km) pro vysoko letící „cíle“

I když je v teoretické rovině dosah UAT a 1090 ES v podstatě totožný, prakticky je dosah 1090 ES nižší, kvůli přetížení tohoto frekvenčního pásma. [13]

K aktualizaci dat dochází v řádu jednotek, několikrát za vteřinu.

8.1.3 Minimální technické požadavky pro přístup do FFAS

Je nutné zajistit, aby letadla používající prostor FFAS splňovala minimální technické požadavky. Letadla musí být osazena technikou umožňující vysílat ADS-B Out zprávy. Pokud uživatelé chtějí využívat všech výhod FFAS prostředí, je nutné, aby jejich letadla vykazovala schopnost přijímat a zpracovávat vysílané zprávy ADS-B Out z ostatních letadel či ze země a zprávy FIS-B a TIS-B. Tato schopnost se nazývá ADS-B In.

Dále musí být příslušný prostor FFAS pokryt signálem z pozemních stanic ADS-B ground station, schopnými přijímat a dále šířit signál ADS-B Out a poskytovat služby FIS-B, TIS-B a zároveň splňovat všechny ostatní možné provozní požadavky.

8.1.4 Nouzové postupy

V případě, že letadlo ztratí schopnost ASAS, je mu přidělena nejvyšší priorita a musí neprodleně opustit prostor FFAS.

8.2 Verdikt o použitelnosti „Free Flightu“

Vše, výše zmíněné, značí omezenou počáteční kapacitu systému. Ta se musí ve všech směrech zohlednit při jeho aplikaci. S ohledem na efektivní dosah, šířku datového toku a rychlost aktualizace dat systému ADS-B a ověřenou hodnotu účinnosti systému detekce a řešení konfliktu, je v současnosti použitelnost aplikace Free Flight Self-separation omezena na prostory s nízkou hustotou provozu, nikdy nepřekračující hodnotu limitní kapacity systému ASAS.

8.3 Specifikace vhodného prostředí pro Free Flight

Zejména technické limity a také trochu počáteční pokora k novému konceptu předpokládá její iniciační použitelnost v těch méně náročných prostředích s nižší hustotou provozu. Hustota provozu je velice proměnlivá veličina, závislá na konkrétní geografické poloze, je odlišná v jednotlivých hladinách a proměnná společně s denní i roční dobou.

8.3.1 Specifikace prostoru s vhodnou hustotou provozu

Jednoduchou úvahou, založenou na obecné znalosti hustoty provozu, vydedukujeme, že optimální prostředí pro počáteční implementaci je z geografického hlediska hraniční prostor mezi dobře vybavenými (z pohledu CNS/ATM) a špatně vybavenými vzdušnými prostory. Ideální, z pohledu výšky letu a hustoty provozu, je provoz v těch méně vytížených cestovních

hladinách (nejvytíženější hladiny v Evropě jsou FL310 a FL410). Hustota v jednotlivých oblastech se rovněž liší v denní a roční době, například v nočních hodinách, bývá provoz z pravidla výrazně nižší i v těch nejvytíženějších oblastech. Speciální případ představuje Oceánský prostor, kde se hustota mění se změnou směru letového toku

- Ze statistických dat o provozu je určeno optimální místo, hladiny a denní doba kde a kdy bude aplikován Free Flight. Samozřejmě, návrh FFAS prostoru bere do úvahy sousední ATM prostředí a provoz v nich.
- Je potřeba zajistit, aby měl koncept ve zvoleném místě průkazný pozitivní vliv na efektivitu provozu a nevykazoval rysy samoúčelnosti.
- Dále je nutno rozhodnout, pro které konkrétní oblasti má opodstatnění navrhnout permanentní FFAS prostory a pro které je vhodnější varianta s FFAS prostory založené na dočasné platformě, vycházející z CFMU dat přepokládaného využití vzdušného prostoru a přepokládané hustoty provozu v této oblasti.

V Evropě jsou vhodnými kandidáty pro Free Flight Self Separation oblastí Středozevního moře, tvořící přechod mezi evropskou jádrovou oblastí a africkým, málo vybaveným vzdušným prostorem. Nebo v Rusku, letové cesty vedoucí na Sibiř nebo již zmíněné Oceánské prostory, kde není žádné radarové pokrytí.

8.3.2 Specifikace vhodného typu provozu

Koncept Free Flight je navržen tak, aby z něho měli stejný užitek všichni jeho uživatelé. Pro jeho počáteční aplikaci se však jeví nejideálnějším typem dopravy ten, který disponuje odpovídající rychlostí, stoupavostí, vysokou technickou vybaveností a zejména velkou manévrovatelností se schopností provést obrát na malém poloměru i s větším přetížením. Takové vlastnosti vykazují malé proudové dopravní letouny zvané business-jet. Velké dopravní letouny vyžadují mnohem větší prostor pro manévry a jejich celková agilita nedosahuje kvalit business-jetu

8.4 Analýza současného vzdušného prostoru centrální Evropy

Současný evropský prostor se nachází ve stadiu proměny směrem k cílům vytyčené Evropskou komisí (European Commission), ve kterých jde o toto: dosáhnout potřebné kapacity a účinnosti ATM prostředí v průběhu příštích 20 let, rozděleného do několika etap. Ústředním prvkem je samozřejmě program SESAR.

Rok 2012 je kritický pro Single European Sky, jak ukazuje seznam nejdůležitějších bodů, kterých je nutno v tomto roce dosáhnout.

- Výkonnostní plán, nastavit klíčové cíle pro ATM
- Zprovoznit 9 operačních bloků, pokrývajících Evropský vzdušný prostor
- Vytvořit ATM network manager (síťové řízení)
- Odstartovat rozmisťovací fázi SESARU, přejít z výzkumné a vývojové fáze k rozmisťování a zavádění technologií (Free Flight je jeho součástí)

Plán je dosažení maximální doby zpoždění 0,5 minuty na jeden let do roku 2014. Již teď je ale valná většina zemí opožděna za harmonogramem. Jen 5 zemí z 27 splňuje požadavky jak na kapacitní růst, tak na růst celkové účinnosti ATM systému.

Současná čísla charakterizující vytížení Evropského vzdušného provozu

- V současnosti projde 440 evropskými letišti přes 1.4 miliardy cestujících ročně
- Přes 26 000 letů denně využívá nějakým způsobem Evropský prostor
- Každý rok se uskuteční 10 milionů letů, s pravidelným ročním přírůstkem 5%
- Do dvaceti let to bude skoro 17 milionů letů ročně

Pod tíží těchto vyhlídek, došlo k iniciaci příslušných organizací, za účelem nalezení řešení budoucích problémů s kapacitou, potencionálními ztrátami bezpečnosti a efektivity či dokonce totálnímu zkolabování ATM.

Došlo k rozhodnutí o modernizaci Evropského prostoru a k vytvoření jednotného Pan-Evropského ATM prostředí, zmodernizováním a sjednocením roztržštěných 27 národních vzdušných prostorů. To přinese:

- Ztrojnásobení kapacity
- Desetinásobné zlepšení bezpečnosti
- Pokles dopadu na životní prostředí o 10%
- Pokles nákladu o 50%

8.5 Postup implementace v konkrétním prostoru

V současnosti již přešel koncept z fáze výzkumu a vývoje do fáze postupné implementace a rozmístění potřebných technologií na zemi i na palubě tak, aby byla zajištěna požadovaná funkčnost a integrita celého systému.

8.5.1 Způsoby implementace FFAS do současného MAS prostředí

Je zřejmé, že pokud dojde k vytvoření podmínek vhodných k tomu, aby ve vzdušném prostoru za specifických podmínek létala letadla preferované trajektorie a separovala sama sebe od ostatního provozu, bude nutné během počáteční implementace konceptu „ubytovat“ ve vzdušném prostoru jak letadla vybavená pro lety ve FFAS, tak letadla pro provoz ve FFAS nevybavená. V teoretické rovině existuje několik možností, jak tuto situaci řešit.

Za předpokladu, že se koncept nestane všestranným řešením přeplněného vzdušného prostoru a jeho vhodné použití bude omezeno jen pro oblastí s nízkou hustotou, stanou se tato přechodová řešení mezi dvěma prostory (FAS-MAS) trvalými.

VYHRAZENÝ PROSTOR

Je možno prostor pro Free Flight vyčlenit ze vzdušného prostoru (trvaleji/dočasně) a vytvořit tzv. *tranzitní vrstvy* umožňující plynulý přechod z MAS do FFAS a naopak. Problémem ovšem zůstává, že tyto vrstvy ubírají z celkové velikosti FFAS prostoru.



Obr.24 Transitní vrstva mezi MAS a FFAS [1]

PROTECTED ATM CORRIDORS (CHRÁNĚNÉ ATM KORIDORY)

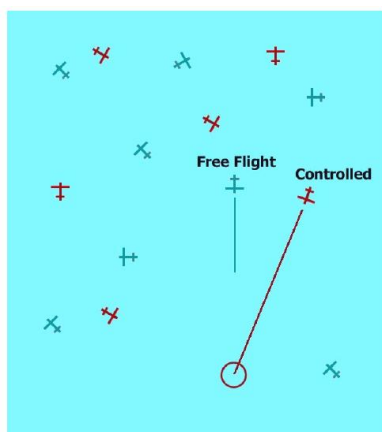
Další možností je vytvoření ochranných ATM koridorů ve FFAS pro běžný provoz, kde rozestupy bude zajišťovat ATC. Všude i skrze koridory mohou letadla, k tomu účelu vhodně vybavená, létat preferované trajektorie, ale nesmí způsobovat žádné konflikty s běžným provozem.



Obr.25 Protected ATM koridory [1]

MIXED TRAFFIC (SMÍŠENÝ PROVOZ)

Nebo lze provoz smísit, a nechat létat vhodně vybavená letadla pro ně preferované tratě. S použitím ASAS systému si budou piloti zajišťovat rozestupy od okolního provozu. Pro nevybavená letadla bude funkcí ASAS simulovat ATC, v podstatě tak, jak to dělá dosud. Nevýhodou je však značný zmatek jak z pohledu řidičích, tak pilotů. [1]



Obr.26 Smíšený provoz [1]

8.5.2 Návrh Free Flight AirSpace (FFAS)

Vyjdeme ze studia statistik hustoty provozu v Evropském vzdušném prostoru. Současnou hustotu vynásobíme příslušným koeficientem ročního přírůstku dopravy (zhruba 5%) a dostaneme přibližnou úroveň hustoty v daných oblastech v příštích letech. Tu porovnáme s kapacitními možnostmi systému ASAS. Dále musíme zhodnotit, zdali je vůbec v dané oblasti efektivní aplikovat koncept Free Flight Self-separation. Zde je rozhodujícím faktorem nejen informace o počtu konfliktů, které musí ATC v dané oblasti řešit, ale i úroveň úspory, kterou přinese „narovnání“ trati do ortodrom. kde je nutné zhodnotit, je-li úsek trati vyhrazený pro Free Flight dostatečně velký k tomu, aby se výhody přímých trajektorií projevíly.

Pokud je hustota po celý den pod kapacitou systému ASAS, a provoz v přilehlých ATM oblastech to umožňuje, může být prostor FFAS navrhnout pro danou oblast trvale. Pokud je hustota v dané oblasti proměnná a v určitou denní či roční dobu přesahuje limitní kapacity systému ASAS, ale zároveň by zavedení prostoru FFAS přineslo znatelné úspory, může být prostor FFAS založen na tzv. *dočasné platformě*, vycházející z dat CFMU o hustotě a využitelnosti vzdušného prostoru. Proces vytyčování FFAS na dočasné bázi by se formou blížil dnešnímu procesu vyhrazování prostoru TSA (Temporary Segregated Airspace).

Při konkrétním fyzickém návrhu tvaru prostoru vycházíme, vedle aspektů již výše zmíněných, také z charakteru ATM prostředí potencionální FFAS prostor předcházející a obklopující. Vycházíme z jeho tvaru, charakteru civilního i vojenského leteckého provozu v něm a způsobu, jakým jsou v tomto prostoru uplatňovány minimální rozestupy. Vytvoření odděleného FFAS prostředí se jeví pro počáteční implementaci nejvhodnějším řešením. Proto je nutno vytvořit tzv. *tranzitní zóny* a příslušné procedury pro přechod letadel z prostoru MAS do FFAS a naopak. Toto všechno ovlivní výsledný tvar, velikost a umístění FFAS ve vzdušném prostoru.

Základní charakteristiky prostoru FFAS:

- Přenesení zodpovědnosti za dodržování rozestupů na palubu letadel

- Letadla budou schopna létat ve FFAS vlastní, preferované trajektorie
- Přímé tratě budou realizovány mezi FFAS vstupním bodem a FFAS výstupním bodem
- Bude vytvořena tzv. *referenční oblast*, uvnitř které je vytvořen samotný prostor FFAS
- V referenční oblasti se nepředpokládá sektorizace vzdušného prostoru
- FFAS je aplikován od určité letové hladiny v referenční oblasti (FL 285), oblast je vertikálně a horizontálně ohraničená
- Předpokládá se žádná či silně modifikovaná přítomnost ATC v referenční oblasti

8.5.3 Simulace a zkušební lety

V konkrétní rovině při aplikaci nového konceptu, ať už je jeho reálná použitelnost jakákoliv, je nutné zhodnotit a ověřit všechny aspekty a prvky s implementačním procesem související:

- Skrze procedury a vhodné nástroje zhodnotit, zda jsou řídicí letového provozu a piloti, schopni fungovat efektivně v rámci vybrané aplikace.
- Jasně demonstrovat, že všechny metody provozu v jakékoliv jejich podobě jsou alespoň tak bezpečné nebo bezpečnější, než stávající prostředí. (Metody provozu zahrnují také nouzové situace po poruše či degradaci systému.)
- Zhodnotit ekonomický přínos každé konkrétní aplikace na konkrétním území, zda je vůbec výhodné k jakékoliv změně stávajícího prostředí přistoupit.
- Provéřit a zhodnotit vliv nového konceptu na vojensko-civilní koordinaci.
- Specifikovat dopady konceptu na životní prostředí v příslušné oblasti.
- Vytvořit implementační postup pro plynulý přechod ze starého ATM prostředí do nového.
- Prozkoumat všechny aspekty a náležitosti nové architektury ATM prostředí.

K ověření výše zmíněných aspektů se používají modelové i skutečné real-time simulace či zkušební lety, teoretické studium a vypracování příslušných dokumentů.

Účelem model-based simulací je ověřit výkonnostní parametry jednotlivých ASAS aplikací a určit jejich vhodnost pro konkrétní reálné prostředí a prověřit jejich funkčnost a realizovatelnost za různých podmínek. Cílem tedy je:

- Prozkoumat výkonnost všech Free Flight aplikací a určit nejvhodnějšího kandidáta pro konkrétní prostředí
- Doporučit vylepšení, modifikace a doladění pro konkrétní aplikaci v konkrétním prostředí
- Přispět k ostatním implementačním dokumentům, jako jsou bezpečnostní či technické zhodnocení a provozní výhody
- Podporovat real-time simulace a zkušební lety

Real-time simulace slouží k následujícímu:

- Širšímu studiu aplikace v konkrétním prostředí za účasti a přispění pilotů a řídicích letového provozu během těchto simulací
- Doporučit vylepšení, modifikace a doladění pro konkrétní scénář aplikace
- Poskytnout datové vstupy pro bezpečnostní studie
- Doplnit výsledky modelových simulací

Model-based i real-time simulace vyžadují velké množství vstupních dat k nadefinování modelů a vytvoření funkčního prostředí. Tyto simulace dále vyžadují vyvinout software i hardware pro provedení samotné real-time simulace, zahrnující vhodně navržený interface pro komunikaci mezi lidmi a systémem. Proto je zde nutné zhodnotit a zahrnout vliv lidského faktoru na simulace.

Zkušební lety slouží k níže uvedenému:

- Otestovat a prověřit provozní postupy jak pro řídící pracovníky, tak pro piloty za podpory vhodných nástrojů k tomu určených
- Provéřít a ohodnotit (technologické) předpoklady vzniklé během předcházejících simulací
- Zhodnotit technologii na palubách letadel za různorodých podmínek [5]

8.6 Současný a budoucí stupeň implementace ADS-B technologie ve světě a v Evropě

Kromě soustředění se na vývoj systému ADS-B, důležité je se stejnou měrou věnovat všem ostatním komunikačním, navigačním a přehledovým CNS/ATM technologiím a chápat je jako subsystémy programu SASER tak, aby byly správně optimalizovány pro svou roli v tomto programu.

Z uvedeného plánu zavádění klíčových CNS/ATM technologií (technology roadmap) vyplývá, že dochází k rozšíření ADS-B Out mezi poskytovatele leteckých navigačních služeb (ANSPs) do roku 2015. ADS-B Out bude hojně využívána v Austrálii, Pacifiku, krátce potom bude tato služba zavedena v USA, Evropě a v Oceánském prostoru.

ADS-B Out je předstupněm schopnosti ADS-B In. Tato schopnost nabízí nejvíce výhod uživatelům i poskytovatelům ATM služeb. ADS-B In vyžaduje dosažení určitého stupně vyzrálosti, který se neobejde bez značných investic. Zejména bude nutné finančně podpořit rozvoj procedur a palubní a pozemní infrastruktury, které vytvoří jádro budoucího ATM prostředí se všemi jeho výhodami. [3]

8.7 Budoucí použitelnost

Vědci z NRL v Amsterdamu za pomoci modelových simulací, založených na agentovém přístupu a za použití simulační metody Monte Carlo dokázali, že vylepšený systém ASAS tzv. Advanced ASAS je, za dodržení určitých podmínek, schopen si poradit až s 3x větší hustotou provozu než byla v roce 2005.

Je to důkaz, že Free Flight Self-Separation v sobě skrývá obrovské možnosti a potenciál jako řešení i pro oblasti s tou nejvyšší hustotou provozu. Dále vytváří ideální prostředí pro integraci bezpilotních prostředků a značně zjednodušuje tento proces. Klíčovým problémem UAV je systém Sense and Avoid (vidět a být viděn). Což je opět nástroj, který jim umožní udržet bezpečné rozestupy od okolního provozu. Definitivně tedy stojí za to dál pokračovat v jeho vývoji a výzkumu. [11]

9 Závěr

Celý vývoj konceptu Free Flight provází obrovská očekávání a naděje, nesčetněkrát pasující tento program do role „spasitele“ takřka všech problémů, kterým by budoucí ATM prostředí mohlo potenciálně čelit. Stěžejní otázkou stále zůstává, je-li si koncept Free Flight, skrze klíčové technologie ho realizující, schopen poradit s větším počtem letadel a stát se „náplastí na ty nejobavější místa“ vzdušného prostoru s vysokou hustotou provozu. Výzkum a vývoj táhnoucí se přes dvě desetiletí nebyl schopen na tuto otázku uspokojivě odpovědět. I když poslední výzkumy a simulace naznačují, že by to tak být mohlo.

Klíčovým prvkem, který v podstatě definuje míru aplikovatelnosti konceptu Free Flight Self-Separation, je kapacita systému ASAS, která je závislá na mnoha vzájemně propojených faktorech. V té nejobecnější rovině vychází kapacita systému z jeho výkonnosti, která je dána jeho technickou realizací. Systém ASAS se skládá z modulu detekce a řešení konfliktu (tzv. CD&R modul) v kombinaci s vhodnou data-linkovou technologií šířící potřebná data pro tento modul.

Ideální CD&R modul je opět tvořen kombinací dvou přístupů: modulu pracujícím s aktuálním statusem letadel (4D poloha + trend vektor) s modulem využívající informaci i záměru letadel (znalost bodů trajektorie či celého letového plánu). Oba typy modulu mají svoje výhody a nevýhody, které lze jejich vhodnou kombinací potlačit a pokrýt tak celé spektrum konfliktů, které mohou nastat v časovém horizontu až 20 minut. Druhá část modulu má na starost samotné řešení konfliktu vhodně zvolenou metodou. Z dostupných dat se jeví nejvhodnější metoda modifikovaných napěťových potenciálů, která je podle potřeby schopná pracovat jak v modu prioritních pravidel, tak v modu kooperativním. Vícenásobné konflikty nebyly brány v úvahu, při jejich řešení vystupují do popředí matematické metody založené na agentových přístupech.

Technickou realizaci data-linkové technologie, zodpovědnou za distribuci dat pro ASAS, má na starost systém závislého přehledu ADS-B. Provoz ADS-B probíhá ve dvou variacích ADS-B In/Out. ADS-B Out je zodpovědná za vysílání informací o aktuálním statusu letadla a jeho záměrech do okolí, zatímco varianta ADS-B In značí schopnost letadel tyto informace přijímat, zpracovat, vyhodnotit a předložit je v přijatelné formě posádce. ADS-B In umožňuje přijímat a využívat služby jako FIS-B (předpovědi počasí, NOTAMy, TAFy atd.) nebo službu TIS-B, šířící informace o polohách letadel, získaných z jiných zdrojů (pozemní RADARy, Multilateration atd.). Výkonnostní parametry systému ADS-B přímo ovlivňují kapacitu ASAS. Zde jsou stěžejními parametry rychlost aktualizace dat a jejich efektivní dosah. Dosah přes 200NM a aktualizace dat probíhající několikrát za vteřinu se jeví být dostačující minimálně pro počáteční aplikace konceptu.

Samotná aplikace konceptu Free Flight Self-Separation je velice dynamický proces, ve kterém se vliv všech faktorů na kapacitu systému ASAS mění, v závislosti na konkrétním místě aplikace. Je třeba vzít do úvahy všechny lokální charakteristiky, které ovlivňují, ať už pozitivně či negativně, výslednou kapacitu ASAS. Jde o strukturu a charakter ATM prostředí a provozu v konkrétní oblasti, přítomnost vojenského provozu a segregovaných oblastí, druh

provozu a jeho vybavenost a navigační výkonost. Hodnota kapacity ASAS reaguje velice citlivě na vliv všech těchto prvků, což bylo dokázáno z proběhlých simulací snažící se určit maximální kapacitu ASAS.

Dominantním faktorem je hustota provozu v dané oblasti, která v podstatě vytváří limitní provozní předpoklady pro aplikaci Free Flight Self-Separation. Zjednodušeně řečeno porovnáním lokální hustoty provozu s limitní kapacitou ASAS systému, lze vyčíslit míru vhodnosti aplikace tohoto konceptu v daném místě.

Prozkoumání výše zmíněných faktorů a výsledku simulací prováděných po celém světě, jsem došel k závěru, že systém ASAS vykazuje omezenou počáteční kapacitu. Ta se musí ve všech směrech zohlednit při jeho aplikaci. S ohledem na efektivní dosah, šířku datového toku a rychlost aktualizace dat systému ADS-B a ověřenou hodnotu účinnosti systému detekce a řešení konfliktu, je v současnosti použitelnost aplikace Free Flight Self-Separation omezena na prostory s nízkou hustotou provozu, nikde nepřekračující příslušnou hodnotu limitní kapacity systému ASAS.

Jak již bylo řečeno na začátku, koncept Free Flight v sobě teoreticky ukrývá ohromný potenciál, jenž rozhodně stojí za to dále zkoumat. Bohužel jeho praktické využití je v současnosti na míle vzdáleno optimistickým hypotézám o Free Flightu jako spásném řešení „přeplněného nebe“.

10 Seznam použitých zkratek

ADS (Automatic Dependant Surveillance)	Systém závislého přehledu
ADS-B (ADS-Broadcast)	Varianta ADS
ADS-C (ADS-Contract)	Varianta ADS
ADS-R (ADS-Rebroadcast)	Doplňková varianta ADS
AOC (Airline Operator Center)	Středisko řízení letu provozovatele
AOS (Aircraft Operators)	Provozovatelé letadel
ASAS (Airborn Separation Assurance System)	Systém zajištění separací mezi letadly
ASM (AirSpace Management)	MGMT využití vzdušného prostoru
ATC (Air Traffic Control)	Služba Řízení letového provozu (ŘLP)
ATCo (Air Traffic Controller)	Řídící letového provozu
ATFM (Air Traffic Flow Management)	Uspořádání letového toku
ATM (Air Traffic Management)	Uspořádání Leteckého Provozu
ATS (Air Traffic Services)	ATM v Evropě
AUP (Airspace Use Plan)	Služby řízení letového provozu
CD&R (Conflict Detection and Resolution)	Plán využití vzdušného prostoru
CDTI (Cockpit Display Traffic Information)	modul detekce a řešení konfliktu
CNS (Communication/Navigation/Surveillance)	Grafická jednotka zobrazující okolní provoz
CPDLC (Control-pilot datalink communication)	Komunikace/navigace/přehled
CR (Conflict Resolution)	Data-linková komunikace
DFIS (Data-link Flight Information Services)	Řešení konfliktu
DLIC (Data-link Initial Capability)	Letecké Informační služby přes data-link
EATCHIP (European ATC Harmonisation/Integration)	Počáteční schopnost pro data-link
ECAC (European Civil Aviation Conference)	Program harmonizace a integrace
FANS (Future Air Navigation System)	Evropská vládní organizace
FD (Flight Director)	Koncepce budoucího ATM/CNS
FEATS (Future European ATS)	Jeden z módů autopilota
FFAS (Free Flight AirSpace)	Evropská realizace koncepce FANS
FIS-B (Flight Information Services Broadcast)	Prostor vyhrazený pro Free Flight
FMS (Flight Management System)	Služba v rámci ADS-B
GALILEO	Komplexní systém správy letu
GAT (General Air Traffic)	Realizace GNSS v Evropě
GLONAS	Let podle pravidel ICAO
GNSS (Global Navigation Satellite System)	Realizace GNSS v Rusku
GPS (Global Position System)	Globální navigační satelitní systémy
ICAO (International Civil Aviation Organisation)	Realizace GNSS v Americe
IFR (Instrument Flight Rules)	Mezinárodní organizace civilního letectví
IMC (Instrument Meteorological condition)	Pravidla pro let podle přístrojů
IRS (Inertial Reference System)	Meteorologické podmínky pro lety IFR
LNAV (Lateral Navigation)	Autonomní navigační systém
LVP (Low Visibility Procedure)	Navigace v horizontální rovině
	Procedury za snížené viditelnosti

MAS (Managed AirSpace)	Všechny řízené prostory
MGMT (Management)	
NEXTGEN	Americká obdoba SESARu
NMS (Navigation Management systém)	Navigační systém
NOTAM (Notice to AirMan)	Zprávy důležité pro bezpečnost letu
OAT (Operational Air Traffic)	Let podle jiných pravidel (vojenských)
OCD (Operational Concept Document)	Provozní dokument EUROCONTROLu
QDR	Magnetický směrník k letadlu
QMD	Magnetický směrník k cíli
R/T (Radio/Communication)	Radiová komunikace
RNP (Required Navigaton Performance)	Požadovaná navigační výkonnost
RNW (Runway)	Vzletová a přistávací dráha
RVR (Runway Visibility-Range)	Dráhová dohlednost v metrech
SESAR (Single European Sky ATM Research)	Program organizace EUROCONTROL
STCA (Short-Term Conflict Alert)	Nástroj varování před ztrátou rozestupu
SUA (Special Use Airspace)	Vyhrazený prostor pro zvláštní účely
TAF (Terminal Area Forcast)	Předpověď počasí pro koncové oblasti
TCAS (Traffic Conflict Avoidance Systém)	Protisrážkový systém
TIS-B (Traffic Information Services Broadcast)	Služba v rámci ADS-B
TMA (Terminal Monitoring Area)	Koncová řízená oblast
TSA (Temporary Segregated Area)	Dočasně vyhrazená oblast
UAT (Universal Accesss Transciever)	Zařízení pro přístup k službám ADS-B
UAV (Unmanned Areal Vehicle)	Bezpilotní prostředky
UMAS (Unmanged AirSpace)	Neřízené prostory
VFR (Visual Flight Rules)	Pravidla pro let za vidu
VNAV (Vertical Navigation)	Navigace ve vertikální rovině

11 Seznam použité literatury

- [1] Prof. Dr. A.R. HALE: *Design for Safety: Free Flight Air Traffic Management Concept*, 2001
- [2] M. ZACCHEI: *MFF Operation Concept, Requirements and Procedures*, 2005
- [3] ADS-B In Aviation Rulemaking committee (FAA), *Recommendation to define strategy for ADS-B In Incorporation into the NAS*, 2011
- [4] ICAO Document 9694: *Manual of Air Traffic Services Data Link Application*, 1999
- [5] LUCA BELLISIO: *MFF Program Final Report*, 2005
- [6] HOEKSTRA, GENT, GROEWEENEG: *ASAS Validation with multiple human in the loop*, 2002
- [7] PIETRO ROTUNDO: *MFF Program Operation Benefits Assessment*, 2005
- [8] S. GOEDICKE: *MFF Program Final Statement*, 2005
- [9] PIETRO ROTUNDO: *MFF Program Economic Appraisal*, 2005
- [10] RUIGROG, VALENTI CARI: *The use of aircraft intent information in ASAS*, 2002
- [11] BLOM, BAKER: *Safety of Advanced Airborne Separation Assurance System under very high traffic demand*, 2011
- [12] KULČÁK A KOLEKTIV: *Air Traffic Management*, (CERM) 2002
- [13] ADS-B TECHNOLOGIES WEBPAGES: <http://www.ads-b.com/faq-home.htm>
- [14] iFly(NRL) WEBPAGES: <http://ifly.nlr.nl/>
- [15] NRL WEBPAGES: <http://hosted.nlr.nl/public/hosted-sites/freeflight/main.htm>
- [16] EUROCONTROL WEBPAGES: <http://www.eurocontrol.int/>
- [17] FAA WEBPAGES: <http://www.faa.gov/>