



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA DOPRAVNÍ**

Samuel Horník

Komunikační infrastruktury v Sectorless ATM konceptu

Bakalářská práce

**2020**

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



**K621 .....Ústav letecké dopravy**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Samuel Horník**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**B 3710 – LED – Letecká doprava**

Název tématu (česky): **Komunikační infrastruktury v Sectorless ATM konceptu**

Název tématu (anglicky): **Communication Infrastructure in Sectorless ATM Concept**

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cíl: Návrh a analýza komunikační infrastruktury pro potřeby konceptu Sectorless ATM (Flight Centric ATC)
- Definování nejpravděpodobnějšího prostředí a podoby v jaké se předpokládá aplikace konceptu Sectorless v Evropě
- Logické a technické aspekty komunikace v prostředí sectorless
- Datová a hlasová komunikace v prostředí sectorless
- Cost-benefit analýza a výběr nejlepšího komunikačního řešení pro definovanou oblast



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: "Sector less ATM" Task Force Report  
SESAR 2020 PJ.10-01b V2 VALR  
Analysis of the voice communication capacity for a free-route sectorless airspace

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Stanislav Pleninger, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **9. října 2019**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **10. srpna 2020**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

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



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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Samuel Horník  
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....9. října 2019

## **PodĎakovanie**

Rád by som na tomto mieste poĎakoval všetkým, ktorí ma pri písaní bakalárskej práce podporovali. Špeciálne by som chcel poĎakovať pánovi Ing. Stanislavovi Pleningerovi, Ph.D. a pánovi Ing. Martinovi Lehkému za ich odborné rady a pripomienky, ktoré mi uľahčili písanie tejto práce.

## **Prehlásenie**

Týmto prehlasujem, že som predloženú prácu vypracoval samostatne a že som uviedol všetky použité zdroje informácií v súlade s Metodickým postupom o dodrţovaní etických princípov pri príprave vysokoškolských záverečných prací.

Nemám závaţný dôvod proti použitiu tejto práce v zmysle § 60 Zákona č. 121/2000 Zb., o autorskom práve, o právach súvisiacich s autorským právom a o zmene niektorých zákonov.

V Prahe dňa .....

.....

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Komunikační infrastruktury v Sectorless ATM konceptu

Bakalářská práce

2020

Samuel Horník

## **ABSTRAKT**

Predmetom bakalárskej práce „Komunikační infrastruktury v Sectorless ATM konceptu“ je predstavenie Sectorless ATM konceptu ako takého v porovnaní s tradičným konceptom riadenia vzdušného priestoru nad územím Európy. Následne práca pokračuje analýzou logických a technických aspektov komunikácie v prostredí sectoless. V závere je vykonaná analýza možných komunikačných infraštruktúr použiteľných v Sectorless ATM koncepte.

**Kľúčové slová:** sectorless koncept, riadiaci letovej prevádzky, letecká komunikácia

## **ABSTRACT**

The subject of the bachelor thesis “Communication Infrastructure in Sectorless ATM Concept” is introduction of the Sectorless ATM Concept in comparison with the conventional concept of Air Traffic Management over the territory of Europe. Subsequently, the thesis continues with the analysis of logical and technical aspects of the communication in the sectorless environment. In the conclusion, analysis of the possible communication infrastructure usable in the Sectorless ATM concept is made.

**Key words:** sectorless concept, air traffic controller, aviation communication

## Obsah

Zoznam použitých skratiek.....	6
Úvod .....	9
1 Definovanie vhodného prostredia a podoby konceptu.....	11
1.1 Sectorless ATM vs. konvenčný model.....	11
1.1.1 Rozdiely medzi konceptmi .....	11
1.2 Výhody.....	13
1.3 Negatíva .....	13
1.4 Prehľad simulácií .....	15
1.4.1 Simulácia v ACC Budapešť.....	15
1.4.2 Simulácia v ACC Madrid .....	16
1.4.3 Nemecká simulácia.....	16
1.4.4 Simulácia od AgentFly .....	16
1.5 Vhodné prostredie a podoba konceptu.....	16
2 Dátová a hlasová komunikácia v prostredí sectorless .....	18
2.1 Delenie komunikácie .....	18
2.1.1 Hlasová komunikácia .....	18
2.1.2 Dátová komunikácia.....	19
3 Logické a technické aspekty komunikácie v prostredí sectorless .....	21
3.1 Logické aspekty .....	21
3.1.1 Strata situačného povedomia.....	21
3.1.2 Riešenie konfliktov .....	21
3.1.3 Safety net.....	23
3.1.3.1 Prostriedky na detekciu a riešenie konfliktov .....	23
3.1.3.2 Postupy v neštandardných situáciách .....	24
3.2 Technické aspekty .....	25
3.2.1 Nemecký model komunikačnej infraštruktúry .....	26
3.2.2 CLIMAX s 8,33 kHz alebo 25 kHz kanálovou separáciou.....	28
3.2.3 Aircom Satellite Voice .....	30

3.2.4 LDACS.....	34
3.2.4.1 Technické zázemie .....	34
4 Výber najlepšieho riešenia komunikačnej infraštruktúry pre definovaný priestor .....	38
4.1 Výber priestoru .....	38
4.2 Podkladová analýza pre CBA komunikačných infraštruktúr.....	40
4.3 Najvhodnejšia komunikačná infraštruktúra pre definované prostredie .....	43
Záver .....	45
Použité zdroje.....	47
Zoznam obrázkov .....	50
Zoznam tabuliek .....	51

## Zoznam použitých skratiek

<b>A/A</b>	Air – to – air (komunikácia vzduch – vzduch)
<b>A/G</b>	Air – to – ground (komunikácia vzduch – zem)
<b>AAC</b>	Aeronautical Administrative Communications (Letecké administratívne spojenie)
<b>ACAS</b>	Airborne Collision Avoidance System (Systém na zabránenie zrážkam lietadiel vo vzduchu)
<b>ACC</b>	Area Control Centre (Oblasť riadiace centrum)
<b>AM</b>	amplitúdová modulácia
<b>AOC</b>	Aeronautical Operational Control (Letecká operačná kontrola)
<b>AS</b>	Aircraft Station (lietadlová stanica)
<b>ATC</b>	Air Traffic Control (Riadenie letovej prevádzky)
<b>ATCO</b>	Air Traffic Controller (Riadiaci letovej prevádzky)
<b>ATM</b>	Air Traffic Management (Riadenie letovej prevádzky)
<b>ATN</b>	Aeronautical Telecommunication Network (Letecká telekomunikačná sieť)
<b>BC</b>	Broadcast Channel (vysielací kanál)
<b>BHANSA</b>	Letové navigačné služby Bosny a Hercegoviny
<b>BSS</b>	Best Signal Selection (výber najlepšieho príjmu)
<b>CBA</b>	Cost – benefit analýza
<b>CPDLC</b>	Controller Pilot Data Link Communications
<b>ČR</b>	Česká republika
<b>DFS</b>	Deutsche Flugsicherung (Nemecký inštitút riadenia letovej prevádzky)
<b>DLR</b>	German Aerospace Center (Nemecké letecké stredisko)
<b>DME</b>	Distance Measuring Equipment (Zariadenie na meranie vzdialenosti)
<b>EAP</b>	Extended ATC Planner
<b>FAB CE</b>	Functional Airspace Block Central Europe (Stredoeurópsky funkčný blok vzdušného priestoru)



<b>FL</b>	Flight level (letová hladina)
<b>ft</b>	feet (stopy)
<b>G/A</b>	Ground – to – air (komunikácia zem – vzduch)
<b>G/G</b>	Ground – to – ground (komunikácia zem – zem)
<b>GS</b>	Ground Station (pozemná stanica)
<b>GSC</b>	Ground Station Controller (systém pre riadenie pozemnej stanice)
<b>HF</b>	High Frequency (krátke vlny)
<b>ICAO</b>	International Civil Aviation Organization (Medzinárodná organizácia pre civilné letectvo)
<b>IFR</b>	Instrument Flight Rules (Pravidlá letu podľa prístrojov)
<b>KV</b>	krátke vlny
<b>LDACS</b>	L-band Digital Aeronautical Communication System
<b>LPS SR</b>	Letové prevádzkové služby Slovenskej republiky
<b>LPS</b>	Letecké prevádzkové služby
<b>LTE</b>	Long Term Evolution
<b>MAC</b>	Medium Access Control layer (Prostredná prístupová vrstva)
<b>MHz</b>	megahertz
<b>MTCD</b>	Medium Term Conflict Detection (Detekcia konfliktov v strednodobom horizonte)
<b>NM</b>	Nautical Miles (námorná míľa)
<b>OFDM</b>	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Ortogonalný multiplex s frekvenčným delením)
<b>PSTN</b>	Public Switched Telephone Network (Verejná telefónna sieť)
<b>RA</b>	Random Access Channel (kanál s ľubovoľným prístupom)
<b>RVSM</b>	Reduced Vertical Separation Minimum (Redukovaná minimálna vertikálna separácia)
<b>ŘLP ČR</b>	Řízení letového provozu České republiky

<b>S-ATM</b>	Sectorless Air Traffic Management (Bezsektorové riadenie letovej prevádzky)
<b>SESAR</b>	Single European Sky ATM Research (Jednotné európske nebo ATM výskum)
<b>SITA</b>	Société Internationale de Télécommunications Aéronautiques (Medzinárodné združenie pre letecké komunikácie)
<b>SR</b>	Slovenská republika
<b>UKV</b>	ultra krátke vlny
<b>VCS</b>	Voice Communication System (Hlasový komunikačný systém)
<b>VHF</b>	Very High Frequency (veľmi krátke vlny)
<b>VKV</b>	veľmi krátke vlny
<b>WiFi</b>	Wireless Fidelity (Bezdrôtová vernosť)

## Úvod

Letecká doprava je v dnešnom modernom svete už jeho neoddeliteľnou súčasťou. Pozitívnym spôsobom dokáže pri priaznivých podmienkach ovplyvňovať rast a rozvoj štátov, a zároveň má jej vývoj stúpajúcu tendenciu, čo sa odráža aj v rôznych oblastiach vedy. Všetko sa to následne odráža aj na zvyšujúcom sa čísle v počte pohybov lietadiel a prepravených cestujúcich.

Problém, ktorý vzniká pri každoročnom zvyšovaní počtu lietadiel vo vzdušnom priestore vzniká v súvislosti s efektivitou riadenia leteckej prevádzky. Otázku, ktorú si treba položiť je: Ako čo najefektívnejšie riadiť leteckú prevádzku, a zároveň udržať nastavený level bezpečnosti v leteckej doprave?

Odpoveďou na túto otázku by mohlo byť zavedenie konceptu Sectorless ATM vo vzdušnom priestore Európy, ktorým by sa nahradil terajší konvenčný systém riadenia leteckej prevádzky v rámci jednotlivých sektorov. Prvýkrát sa myšlienka Sectorless ATM konceptu objavila už v roku 2001 na európskom seminári riadenia leteckej prevádzky v Santa Fe. Táto prvotná myšlienka sa veľmi neujala a až v roku 2008 ju obnovili nemeckí odborníci z DLR, ktorí následne vykonali prvé menšie simulácie v určitom obmedzenom režime, a ku ktorým sa čoraz výraznejšie pridávajú experti z inštitútu riadenia leteckej prevádzky v Maďarsku.

Tento systém by bol obrovskou zmenou v riadení leteckej prevádzky, či už po technologickej, koordinačnej, ale aj praktickej stránke a mohol by zvýšiť efektivitu riadenia a kapacitu vzdušného priestoru až o 100%. Uvažovať o Sectorless ATM systéme má zmysel z dvoch dôvodov – mal by riešiť problém kapacity a, či už z hľadiska ekonomického alebo pracovnej záťaže by mal šetriť na riadiacich letovej prevádzky. Zároveň máme k jeho implementácii pomerne ďaleko, keďže je potrebné vyriešiť niekoľko závažných problémov. Krajinou, ktorá v podstate riadi celý výskum konceptu S-ATM a je momentálne najbližšie k implementácii tohto systému do svojho vzdušného priestoru je Nemecko.

Podľa projektu DFS, by sa koncept sectorless mal v Nemecku postupne spúšťať v troch fázach v hornom vzdušnom priestore oblasti Karlsruhe:

Prvá fáza – „*Robusto*“ – bude prebiehať v dvoch krokoch. V prvom kroku sa do sectorless konceptu konvertujú štyri Nord-East sektory nad FL385, ale termín spustenia tejto etapy nie je známy. V druhom kroku sa koncept plánuje spustiť v celom hornom vzdušnom priestore, nad FL375, oblasti Rhein a to do konca roku 2024.

Druhá a tretia fáza by sa následne mali spustiť s 5 až 10 ročným odstupom, pričom by sa v nich mal implementovať sectorless koncept v priestore FL375 a nižšie.

V tejto práci sa budeme venovať problému komunikácie a komunikačnej infraštruktúry v rámci tohto konceptu. Naším cieľom bude analyzovať možné modely komunikácie, ktoré by bolo vhodné aplikovať do systému Sectorless ATM. Najprv si koncept sectorless v podstate predstavíme a ukážeme ako by mal vlastne fungovať v porovnaní s dnešným systémom. Ďalej si postupne definujeme najpravdepodobnejšie prostredie a podobu, v akej sa predpokladá aplikácia konceptu sectorless, následne rozoberieme logické a technické aspekty komunikácie v prostredí sectorless, dátovú a hlasovú komunikáciu v tomto prostredí a nakoniec by sme mali vykonať analýzu s cieľom vybrať najlepšie riešenie komunikačnej infraštruktúry pre definovaný priestor, ak také bude.

## 1 Definovanie vhodného prostredia a podoby konceptu

V tejto kapitole na základe výhod, negatív a rozdielov medzi konvenčným systémom a S-ATM konceptom popíšeme vhodné prostredie a podobu, v ktorej by sa sectorless koncept mohol implementovať. Taktiež si predstavíme a budeme brať do úvahy už vykonané simulácie sectorless konceptu v rôznych ACC oblastiach Európy.

### 1.1 Sectorless ATM vs. konvenčný model

V tejto kapitole sa pozrieme na rozličný prístup k rozdeleniu vzdušného priestoru v podaní sectorless konceptu a konvenčného modelu delenia vzdušného priestoru na sektory. Popíšeme výhody, nevýhody, ale aj problémy prechodu na Sectorless ATM koncept alebo aj to, ako by sa zmenila rola riadiaceho letovej prevádzky (ATCO) v novom koncepte.

#### 1.1.1 Rozdiely medzi konceptmi

Už na prvý pohľad je jasné, že po prechode na sectorless prístup, by v riadení leteckej dopravy a vzdušných priestorov neostal kameň na kameni. Teraz si ukážeme najväčšie rozdiely medzi konceptmi, ktoré by sa dali rozdeliť na jeden základný rozdiel a ďalšie iné rozdiely.

#### **Sektory**

Konvenčný prístup riadenia leteckej dopravy je postavený na rozdelení vzdušného priestoru danej krajiny do sektorov tak, ako môžeme vidieť na obrázku 1 vpravo. Či už vertikálnych alebo horizontálnych. Každý sektor je riadený dvoma pracovníkmi riadenia leteckej prevádzky – planner ATCO a executive ATCO, ktorí pomerne jednoducho dokážu komunikovať so susednými sektormi a postupne si tak presúvať jednotlivé lietadlá medzi sektormi. Naopak, koncept sectorless zachytáva vzdušný priestor krajín v podstate ako jeden sektor, ktorý je ohraničený hranicami, v rámci ktorých, by bol sectorless koncept implementovaný ako môžeme pre predstavu vidieť na obrázku 1 vľavo. Každé lietadlo, ktoré by tak vstúpilo do vzdušného priestoru, v ktorom by bol koncept sectorless implementovaný, by bolo pridelené konkrétnemu ATCO, ktorý by bol zodpovedný za toto lietadlo počas celej doby letu, až kým by lietadlo neopustilo takto riadený vzdušný priestor.

#### **ATCO**

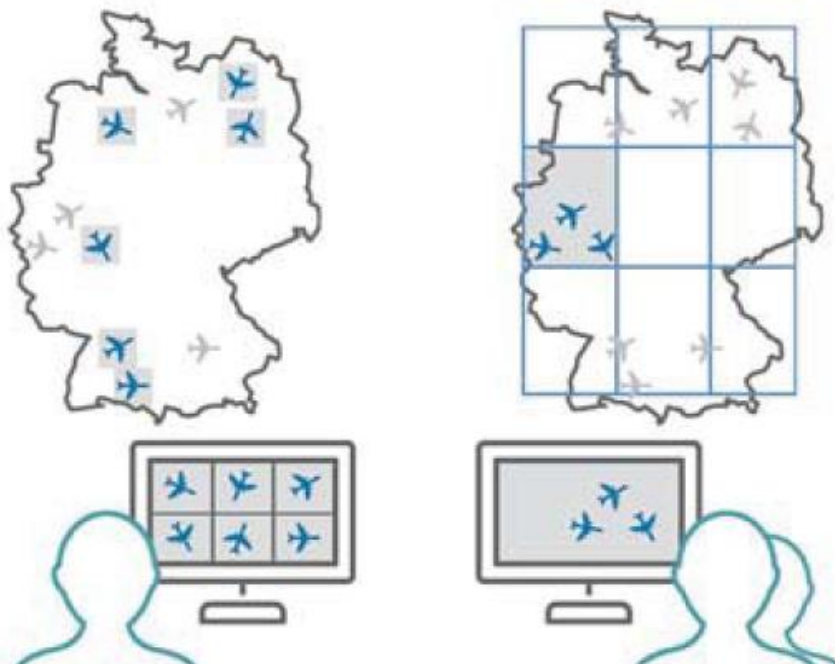
Ďalším veľkým rozdielom v porovnaní so sektorovým rozdelením je, že by na každom stanovišti riadenia, kde teraz sedia dvaja ATCO, už spomenutí executive a planner, ostal už len jeden ATCO.

V konvenčnom modeli má executive ATCO za úlohu starať sa o skupinu lietadiel vo svojom sektore, pričom je zodpovedný za počiatočné aktivity, ktoré je potrebné vykonať po prebratí daného lietadla, ako napr. prvotná kontrola konfliktov alebo plánovanie potrebných manévrov

v súvislosti s fázou letu daného lietadla atď. [1] Planner ATCO má za úlohu zväžiť informácie o lietadle a ďalší postup už asi 15 – 30 minút pred vstupom daného lietadla do sektoru. Ďalej kontroluje letové plány alebo možné konflikty, u ktorých je možnosť, že by bola potrebná koordinácia s iným sektorom. [2]

V koncepte sectorless by zo stanoviska ATCO zmizol planner ATCO, zatiaľ čo pozícia executive ATCO by bola v porovnaní s klasickým modelom veľmi podobná. Myšlienka sectorless konceptu teda vytvára novú pozíciu v riadení leteckej dopravy a to tzv. Extended ATC planner (EAP). [1] EAP ATCO by teda nebol pridelený každému executive ATCO, ale mal by na starosti v podstate celý sectorless priestor a sústredil by sa hlavne na koordinačné úlohy a vstup lietadla do priestoru. Zároveň by mal prideľovať jednotlivé lietadlá jednotlivým executive ATCO. [1]

Práve prideľovanie lietadiel je ešte jeden z podstatných rozdielov, a zároveň jeden z problémov, ktorý spomenieme. Keďže v sektorovo rozdelenom systéme si riadiaci letovej prevádzky lietadlá jednoducho posúvajú so sektora do sektora, tak pri koncepte sectorless táto možnosť logicky nebude možná a tak sa vynára otázka. Ktorému riadiacemu priradiť, ktoré lietadlo? V doterajšom výskume je k dispozícii variant ako k tomuto problému pristúpiť. Pracuje sa s modelmi prirad'ovať lietadlá jednoducho zaradom každému ATCO, ďalej by prideľovanie mohlo byť postavené na rôznych tokoch lietadiel alebo by prideľovanie mohlo byť založené na vypočítavaní pracovnej záťaže jednotlivých ATCO.



Obrázok 1. Rozdelenie vzdušného priestoru z pohľadu konvenčného a sectorless konceptu [1]

## 1.2 Výhody

Koncept Sectorless ATM prináša niekoľko benefitov v porovnaní s tradičným sektorovým systémom:

### **Rozdelenie pracovnej záťaže**

Keďže lietadlá by boli určitým spôsobom priamo pridelované jednotlivým ATCO, mohli by sa tak rovnomerne rozdeliť medzi všetkých pracovníkov v službe. Zvýšenie efektivity môžeme vysvetliť na príklade, kedy máme v konvenčnom systéme otvorené 2 sektory, ktorých kapacita je naplnená, a tak musia byť oba sektory rozdelené, čím teda dostaneme 4 sektory, na ktoré potrebujeme spolu osem riadiacich, a ktorých kapacita bude využitá len na 50%. V sectorless koncepte by bol tento problém riešený otvorením len jednej ďalšej pozície. V tomto prípade je vzdušný priestor riadený len troma riadiacimi a úroveň využitia kapacity sa zvýši na 66%. [1]

### **Flexibilita ATCO**

Keďže ATCO by už nebol viazaný na daný sektor, mohol by teoreticky byť viac flexibilný, hlavne čo sa týka trasy lietadla. Samozrejme, že by sa nemohlo lietať ako by si ATCO zmyslel. Vždy sú potrebné striktné pravidlá, ktoré sa musia dodržiavať, no dokážem si predstaviť určité prípady, kedy by pracovníci riadenia leteckej dopravy mohli mať viac možností ako riadiť jemu pridelené lietadlo.

### **Nárast kapacity**

Vzdušný priestor a jeho kapacita už viac nie sú obmedzované sektormi a očakáva sa nárast kapacity a efektivity ATCO až o 100% [28], zároveň je to jeden z dôvodov prečo by sa tento koncept mal aplikovať.

### **Žiadne odovzdávanie lietadiel medzi sektormi**

Keďže zmiznú sektory, tak zmizne aj odovzdávanie jednotlivých lietadiel medzi riadiacimi zo jedného sektoru do druhého, tým pádom sa teda výrazne obmedzí komunikácia a potreba koordinácie medzi ATCO.

### **Nemusí byť pevne daná trajektória letu**

Letový plán už nebude musieť striktno dodržiavať bežnú trasu a prechádzať koordináčnymi bodmi, ale bude sa môcť využívať preferovanejšia trasa.

## 1.3 Negatíva

Na prvý pohľad sa môže zdať, že Sectorless ATM je systém s množstvom dobrých výhod a nebude problém ho zaviesť do skutočnej leteckej prevádzky. V skutočnosti však táto

myšlienka otvára skôr viac otázok a problémov než benefitov. Okrem riešenia otázky komunikácie, ktorá bude ďalej riešená v tejto práci, medzi najväčšie problémy patria:

### **Pracovné prostredie ATCO**

Ako už bolo viackrát spomenuté, na každom pracovisku riadenia leteckej prevádzky ostane už len jeden ATCO. Okrem toho, že sa zmenia určité procesy a pravdepodobne a softvér, tak podľa riadiacich je pre nich najväčším problém strata tzv. situation awareness, čiže ich schopnosť predchádzať problémom skôr ako boli detekované. Tento problém je v podstate len otázkou softvéru a hardvéru na pozícii ATCO (jeden z návrhov môžeme vidieť na obrázku 2), keďže momentálne nemôže detailne sledovať vzdušný priestor celej krajiny, čo je pre sectorless koncept veľmi dôležité, pretože jemu pridelené lietadlá môže mať v jednom momente rozmiestnené po celom vzdušnom priestore.

### **Koordinácia riadiacich a riešenie konfliktných situácií**

Potenciálne konflikty medzi lietadlami si vo väčšine prípadov v koncepte sectorless ATCO nedokáže vyriešiť len komunikáciou s posádkou daných lietadiel, tak ako je to možné v súčasnom sektorovom systéme. Otázkou je, ako budú pri konflikte spolu komunikovať jednotliví riadiaci, ktorých sa konflikt týka a kto z nich bude za riešenie konfliktu vlastne zodpovední. Navyše, dochádza k strate tzv. four-eyes principle, keďže konflikt už na jednej pozícii nesledujú dvaja ATCO, ale len jeden. To platí pre konflikt medzi dvoma lietadlami, ktoré obe riadi jeden riadiaci. Akonáhle sú konfliktné dve lietadlá, kde každé riadi iný riadiaci, sú konfliktné situácie videné dvoma riadiacmi.

### **Prechod zo súčasného konceptu na koncept Sectorless ATM**

Aj keď tento problém možno v súčasnosti ešte nie je úplne aktuálny, je potrebné nad ním už aspoň uvažovať. Ide teda o otázku, ako čo najjednoduchšie a najefektívnejšie prejsť zo sektorovo rozdeleného priestoru na ten bezsektorový. Existuje niekoľko stratégií ako tento prechod uskutočniť. Určite to nebude zo dňa na deň a bude potrebné zavádzať tento koncept do života postupne po malých častiach.

### **Ďalšie otázky**

Je ešte niekoľko otázok, na ktoré bude potrebné postupne nájsť odpovede. Ide o otázky technickej podpory, ale aj otázky typu: Aký ekonomický dopad bude mať nový systém na leteckú dopravu alebo aký spoľahlivý nový systém bude? A samozrejme, tak ako v mnohých oblastiach života, je ďalším problémom otázka legislatívy.



R	R	R	R
R	C	S	R

Obrázok 2. Jeden z návrhov usporiadania displeja na pozícii ATCO (R - displej radaru, C - displej konfliktov, S - situačný displej) [4]

## 1.4 Prehľad simulácií

Všetky simulácie, ktoré boli doposiaľ vykonané, boli spustené pod taktovkou SESARu v projekte s názvom SESAR 2020 Pj.10-01b, ktorého úlohou je v podstate hodnotiť a overovať jednotlivé stránky konceptu. Postupne si predstavíme simulácie vykonané v ACC Budapešť, ACC Madrid, simulácia v severnom vzdušnom priestore Nemecka a simuláciu vedenú spoločnosťou AgentFly v priestore ACC Praha.

### 1.4.1 Simulácia v ACC Budapešť

Pri simulácii v Budapešti, ktorá prebiehala v januári roku 2019 bol do sectorless konceptu transformovaný ACC priestor nad FL325, ktorý už vtedy bežne fungoval ako Free – Route priestor. Simulácia prebehla v reálnom čase s použitím modelu BADA, ktorý vytvoril Eurocontrol, a ktorý poskytuje špecifické súbory údajov lietadiel, pomocou ktorých je možné pomerne presne podnecovať správanie akéhokoľvek lietadla.

Cieľom simulácie bolo posúdiť dynamické pridelovanie lietadiel jednotlivým riadiacim, pracovné prostredie riadiaceho a displej používaný pri sectorless koncepte, stratégiu pre wide – area komunikáciu, zahrňujúcu A/G a G/G komunikáciu a posúdiť kapacitu potrebných frekvencií a vplyv na ľudskú výkonnosť. Ďalším predpokladaným úspechom simulácie malo byť posúdenie vhodného systému na riešenie konfliktných situácií a koordinácie medzi ATCO a posúdiť celkovú bezpečnosť, kapacitu, či palivovú a nákladovú efektivitu systému a ich plánovanie.

### **1.4.2 Simulácia v ACC Madrid**

Ďalšia simulácia sectorless konceptu prebehla na prelome marca a apríla v roku 2019 v časti ACC priestoru oblasti Madrid. Hlavným predmetom simulácie bolo analyzovať benefity implementácie S-ATM konceptu ako mechanizmu na optimalizovanie produktivity riadiacich pri udržaní stáleho stupňa bezpečnosti vzdušného priestoru a napríklad aj najvhodnejšie stratégie alokácie lietadiel.

Očakávané úspechy simulácie predstavovali zvýšenie efektivity vzdušného priestoru, zníženie spotreby paliva vďaka odstráneniu vertikálnych obmedzení pri sektorovom rozdelení vzdušného priestoru.

### **1.4.3 Nemecká simulácia**

Táto simulácia prebehla v marci roku 2019 a v oblasti vzdušného priestoru severného Nemecka, pričom validačným centrom bolo ACC Brémy. Predmetom bolo posúdiť možné benefity sectorless konceptu pri riadení prevádzky založenej na riadení tokov a cieľom bolo v podstate analyzovať, či je nová štruktúra vzdušného priestoru v rámci sectorless konceptu operačne prijateľná a s tým spojené nastavenie zodpovednosti a úloh riadiacich letovej prevádzky. Okrem toho sa sledoval aj dopad systému na ľudskú výkonnosť, efektívnosť nákladov, bezpečnosť a prostredie. Išlo opäť o simuláciu v reálnom čase a jej predpokladaným úspechom bolo zvýšenie efektivity nákladov v závislosti na produktivite ATCO.

### **1.4.4 Simulácia od AgentFly**

Poslednou známou simuláciou je simulácia od firmy AgentFly, ktorá prebiehala v období od januára do apríla roku 2019, a ktorej validačným centrom bolo ACC Praha. Predmetom simulácie bolo posúdenie možnej uskutočniteľnosti resp. implementácie S-ATM konceptu v závislosti na stupni jeho komplexnosti a porovnávanie benefitov sectorless konceptu a konvenčného systému riadenia vzdušného priestoru.

Dosiahnutými úspechmi simulácie malo byť definovanie vhodnej alokačnej stratégie v závislosti na komplexnosti systému, posúdenie dopadu konceptu na ľudskú výkonnosť, pracovnú záťaž riadiacich, kapacitu vzdušného priestoru a nákladovú efektívnosť.

## **1.5 Vhodné prostredie a podoba konceptu**

V závere tejto kapitoly sa dostávame k tomu najdôležitejšiemu, a to k definovaniu vhodného prostredia a podoby v akej by S-ATM koncept mohol byť implementovaný.

### **Územie**

Ako sme si vysvetlili vyššie, že už pri potrebe deliť v konvenčnom prostredí dva sektory na štyri, sa nám v S-ATM koncepte tento problém vyrieši pridaním len jednej pozície ATCO a efektívnosť využitia vzdušného priestoru sa nám zvýši o 16% je možné usúdiť, že sectorless koncept je možné využiť aj na pomerne malom území. Myslím, že sa to dá povedať asi tak, že sectorless koncept je vhodné aplikovať v podstate v každej krajine, ktorej vzdušný priestor je v akejkoľvek hodine dňa v konvenčnom systéme rozdelený na minimálne 2 sektory. Samozrejme, čím väčšie územie a čím viac lietadiel, tým efektívnejší je S-ATM koncept schopný byť.

### **Výška**

Vzhľadom k tomu, že všetky simulácie, ktoré sú popísané vyššie prebiehali v hornom vzdušnom priestore a ako sa dozvieme v ďalšej kapitole, tak DFS plánuje v prvej etape spustiť sectorless koncept v priestore nad FL375, tak aj ja navrhujem v prvotných krokoch implementácie využívať len vzdušný priestor nad FL375, ale určite ak bude systém fungovať bez problémov a osvedčí sa, bude vhodné postupne výšku znižovať, a tak využiť a zvyšovať efektívnosť, čo najväčšieho priestoru, keďže so zvyšovaním dopytu po leteckej doprave to je nutné. Sectorless koncept by teda začínal od FL380, keďže by určite išlo čisto len o IFR lety, ktorým sa poskytuje služba riadenia letovej prevádzky, a tie sa lietajú v hladinách, ktoré končia „0“, čiže 380, 390 a podobne. Prípadne si myslím, že by to bolo vhodné posunúť aj smerom nadol, takže by S-ATM prostredie začínalo od FL370.

### **Pravidlá letu**

Čo sa týka plánovania a pravidiel letu v sectorless prostredí, tak nevidím dôvod na nejaké zmeny. Mali by sa naďalej používať zaužívané postupy pre IFR lety a myslím, že zmeny by myšlienke S-ATM konceptu len uškodili a našlo by sa viac odporcov nového systému, či už v radách pilotov alebo riadiacich letovej prevádzky.

Podobne by sa nemali zmeniť ani pravidlá rozostupov, či už vertikálnych alebo horizontálnych. Vo FL290 alebo nad ňou sa teda dodrží minimálny vertikálny rozstup 2000 ft / 600 m a vo vzdušnom priestore, ktorý je zahrnutý v dohode o zavedení systému zníženia vertikálnych rozstupov (RVSM), 1000 ft / 300 m pod FL410 alebo vyššou hladinou, kde je to tak predpísané a 2000 ft / 600 m v tejto letovej hladine alebo nad ňou.

V závislosti na riešení komunikácie v S-ATM prostredí by jednotlivé lietadla museli, samozrejme, byť vybavené potrebnými komunikačnými prostriedkami a systémami.

## 2 Dátová a hlasová komunikácia v prostredí sectorless

Komunikácia je prostriedok, ktorým sa posádky lietadiel spájajú s inými posádkami a s pozemnými službami na poskytovanie informácií o leteckej prevádzke. Zároveň môžeme povedať, že komunikácia v letectve je jedným zo základných prvkov v letectve, ktorý zabezpečuje plynulosť a bezpečnosť leteckej dopravy.

### 2.1 Delenie komunikácie

Letecká komunikácia môže prebiehať v troch základných väzbách. Prvou je prenos informácií medzi palubou lietadla a zemou – A/G komunikácia, druhou je komunikácia v rámci pozemnej infraštruktúry – G/G komunikácia a poslednou je vzájomná komunikácia medzi lietadlami – A/A komunikácia. Komunikácia slúži na prenos informácií a podľa druhu ju môžeme rozdeliť na hlasovú a na dátovú.

#### 2.1.1 Hlasová komunikácia

Hlasová komunikácia je v dnešnej dobe veľmi dôležitá, avšak postupne sa čoraz využívajú moderné dátové komunikačné systémy. Samotná hlasová komunikácia sa uskutočňuje prostredníctvom niekoľkých rádiostaníc a prijímačov v lietadle a niekoľkých rádiostaníc a prijímačov umiestnených na zemskom povrchu.

Rádiostanice používané pre potreby leteckej dopravy môžeme rozdeliť do štyroch kategórií:

1. rádiostanice KV – frekvencie pod 30 MHz, ktoré slúžia na zaoceánsku komunikáciu
2. rádiostanice VKV – vyhradené tzv. 1. frekvenčné pásmo 108-136 MHz, ktoré slúži na príjem pozemných navigačných zariadení a na príjem hlasovej komunikácie frekvencie 118-136MHz
3. rádiostanice VKV/UKV – vyhradené tzv. 2. frekvenčné pásmo 230-380 MHz, ktoré slúži na komunikáciu zväčša vojenských lietadiel a systémov
4. rádiostanice UKV – frekvencie okolo 1 GHz, ktorú slúžia na príjem nielen navigačných systémov, systémov sledovania vzdušného priestoru, ale aj dátovú komunikáciu medzi lietadlami, strediskami riadenia vzdušného priestoru a pod. [8]

Pre bezpečnosť takejto komunikácie je však dôležité, aby akákoľvek komunikácia bola vysielaná s tzv. AM moduláciou, ktorá sa používa už od roku 1948, pracuje spoľahlivo, bezpečne a využíva nízkonákladové komunikačné zariadenia. Pre svoje výhody sa predpokladá, že amplitúdová modulácia bude v prevádzke ešte množstvo rokov, čím sa ale brzdí rozvoj zavádzania nových ATM aplikácií, napríklad aj sectorless konceptu na strane point – to – point komunikácie.

## 2.1.2 Dátová komunikácia

Podobne ako v prípade hlasovej komunikácie, dátová komunikácia je taktiež v súčasnosti zabezpečovaná pozemným zariadením pracujúcim v rádiových pásmach buď HF (High Frequency) alebo VHF (Very High Frequency). Všetky tieto komunikačné systémy pracujú na úzkopásmových rádiových kanáloch s kapacitou niekoľkých kilobitov za sekundu. Dátová komunikačná sieť používaná na prenos údajov týkajúcich sa bezpečnosti a pravidelnosti leteckej dopravy musia byť striktné oddelené od tých, ktoré poskytujú služby cestujúcim. Práve preto využívajú posádky lietadiel počas letu úzkopásmové služby, zatiaľ čo cestujúci majú prístup k leteckým širokopásmovým službám. Dátové spojenia HF a VHF nedokážu poskytovať širokopásmové služby v súčasnosti a nebudú môcť ani v budúcnosti z dôvodu nedostatku dostupného spektra. Tento nedostatok je obmedzením v implementovaní nových ATM systémov.

Controller Pilot Data Link Communications (CPDLC) je spôsob komunikácie medzi riadiacim letovej prevádzky a pilotom pomocou datalink spojenia. Vo svojej podstate je to systém na odosielanie správ, ktoré nie sú kritické pre lietadlo, ako alternatíva hlasovej komunikácie. [9] Aby prebehlo pripojenie a používanie CPDLC, musí posádka lietadla vykonať prihlasovaciu žiadosť. Toto prihlásenie je buď vykonané posádkou, alebo súčasťou procedúry, kedy lietadlo prechádza z jedného sektoru do druhého. [10] Neskôr je nadviazanie a ukončenie spojenia CPDLC iniciované príslušným sektorom pomocou správ CPDLC Start a End Request.

Benefity využívania CPDLC [11]:

- zredukovanie komunikácie na hlasovom kanáli, ktorý je potrebný na časovo kritické správy
- všeobecne menej chýb zo strany riadiaceho letovej prevádzky ako aj pilota
- možnosť zautomatizovania niektorých prenosov bez zásahu riadiaceho

Letecká telekomunikačná (ATN) sieť zabezpečuje služby dátovej komunikácie a je vypracovaná na zabezpečenie použitia systémov komunikácie, navigácie, sledovania a organizácie letovej prevádzky. Pozostáva z pozemnej a palubnej časti. Úlohou ATN je, aby na špeciálnom základe ponúkala služby spojenia pre dátový prenos organizáciám, ktoré poskytujú letové prevádzkové služby a spoločnostiam prevádzkujúcim lietadlá. Ponúka používateľom spoľahlivé spojenie, nevyhnutné na zaistenie bezpečnosti a efektivity LPS. ATN zabezpečuje služby dátovej komunikácie:

- prenos dát na palubu lietadiel
- výmenu informácií LPS medzi strediskami LPS

- ostatné spôsoby použitia, napr. leteckú operačnú kontrolu (AOC) a letecké administratívne spojenie (AAC) [12]

## 3 Logické a technické aspekty komunikácie v prostredí sectorless

V tejto kapitole sa pozrieme na určité logické problémy, ktoré vznikajú pri komunikácii v sectorless koncepte a predstavíme si 3 možné technické riešenia, ktoré by teoreticky mohli riešiť technický problém komunikácie v sectorless prostredí.

### 3.1 Logické aspekty

Pri prechode z konvenčného systému na S-ATM koncept je jasné, že vzniknú určité problémy pre riadiacich letovej prevádzky, na ktoré pri dnešnom riadení vzdušného priestoru nie sú zvyknutí. Logické aspekty resp. problémy, ktoré vznikajú pri implementácii sectorless konceptu sú:

- Strata tzv. situational awareness
- Riešenie možných konfliktov
- Safety net

#### 3.1.1 Strata situačného povedomia

V konvenčnom prostredí, kde má každý ATCO na starosti jeden sektor a v tom danom sektore všetky lietadlá na jednej frekvencii je pre neho obrovskou výhodou práve situational awareness, čiže určité povedomie a prehľad o celkovej situácii v jeho sektore. Tým pádom je každý ATCO schopný udržiavať bezpečnosť v jeho sektore a zabraňovať, čo i len náznak konfliktu, keďže na obrazovke má zobrazený celý svoj sektor a vidí všetky svoje lietadlá na pomerne malom území, a zároveň komunikáciu s jednotlivými lietadlami sú schopné počuť aj posádky ostatných lietadiel, ktorých sa ale daná komunikácia v danom momente týkať ani nemusí.

V prostredí je sectorless je pravdepodobné, že túto situational awareness ATCO stratí. Každý riadiaci svoje lietadlá síce bude mať na jednej frekvencii, ale problém je v tom, že každé lietadlo môže mať na druhom konci krajiny. Tým pádom vzniká problém, kedy ATCO síce nemusí mať žiadne potenciálne konflikty medzi svojimi lietadlami a môže ich mať úplne pod kontrolou, ale lietadlá v bezprostrednom okolí svojich lietadiel, ktoré riadi iný ATCO, a ktoré predstavujú určité riziko už nedokáže usmerniť sám a v podstate sa tak musí spoliehať sa svojho kolegu. Preto je potrebné vytvoriť pre sectorless prostredie určité pravidlá pre koordináciu riadiacich letovej prevádzky a včasné riešenie potenciálnych konfliktných situácií.

#### 3.1.2 Riešenie konfliktov

Ďalším logickým problémom je pri prechode na sectorless koncept práve riešenie konfliktných situácií. V prostredí sectorless, totiž nie je úplne jasné, ktoré lietadlo resp., ktorý ATCO je vlastne zodpovedný za vyriešenie daného konfliktu. Navyše, v sectorless koncepte riadiaci,

v prípade, že rieši konflikt medzi lietadlami, ktoré má obe pod kontrolou on, stratí tzv. four-eye principle, ktorý je v konvenčnom systéme samozrejmosťou, keďže konfliktné situácie sledujú ako executive ATCO, tak planner ATCO, čo pri S-ATM koncepte nie je možné. Existujú tri reálne možnosti riešenia, ktoré považujem za reálne.

Prvou možnosťou a pre mňa najlepšou, ale zároveň asi aj najzložitejšou je vytvorenie pokročilého softvéru priamo pre sectorless koncept, ktorý by bol schopný určiť, ktorý ATCO bude konflikt riešiť a akým spôsobom. Predstavujem si to tak, že softvér by komunikoval s riadiacimi rôznymi farbami, pričom každá by podľa určitých letových pravidiel znamenala iný manéver. Napríklad zelená signalizácia na radarovom displeji riadiaceho by znamenala, že konflikt nerieši on, ale riadiaci na druhej strane, ATCO, ktorý by za konflikt bol zodpovedný by potom dostal signalizáciu v podobe napríklad červenej farby a s pokynom na stúpanie alebo klesanie do určitej hladiny a pod. Tento systém by, samozrejme, musel byť bezchybný a riadiaci letovej prevádzky by mu museli dôverovať na 100%.

Keďže je ale málo pravdepodobné, že by sa ATCO chcel v takýchto situáciách spoliehať čisto len na nejaký počítač, tak už v počiatočných myšlienkach sectorless konceptu boli vytvorené a DLR už aj odsimulovala pravidlá na manévrovanie pri konfliktných situáciách. Tieto pravidlá sú založené na ICAO pravidlách vzduchu a EFR (Extended Flight Rules). [4] Môžeme ich vidieť v tabuľke 1 a sú navrhnuté tak, že pokrývajú väčšinu možných konfliktov. Ak sa vrátíme k prvej možnosti, riešenia konfliktov počítačom, tak práve tieto pravidlá, ktoré si pri simulácii pochvaľovali aj riadiaci, by mali byť vložené do vytvoreného softvéru, a teda na základe týchto pravidiel by mal softvér pracovať. Veľmi podobný softvér pri simulácii použila aj DLR, ktorá ale nepoužila princíp farieb, ale konfliktný displej, na ktorom sa zobrazovali jednotlivé upozornenia konfliktov. Tento displej môžeme vidieť na obrázku 3.

conflict alert messages								
own	other	ttc	altitude	min sep	avoidance	avoid-contr.	message	
HBV01	< FCA278C	00:00:35	342	0.18 nm	priority to ac in level	own	send recognised show det	
HBV01	< FIN892	00:04:44	374	6.72 nm	previous conflict	own	send recognised show det	
AFR1722	> TOM1265	00:08:19	370	4.51 nm	close to tod	own	send recognised show det	
HA31046	> VPCNK	00:11:33	370	0.54 nm	priority to the right	own	send recognised show det	
BYR4722	< ROT381	00:13:01	380	2.45 nm	priority to the right	own	send recognised show det	
OMA906	> HJE3NL	00:15:01	370	4.39 nm	priority to ac in level	ATC_DFS	no message show det	
HBV01	> BAW165	00:18:07	390	3.08 nm	previous conflict	own	send recognised show det	
AFR1722	< FIN908	00:18:56	370	3.58 nm	previous conflict	own	send recognised show det	

Obrázok 3. Konfliktný displej [4]



Tabuľka 1. Pravidlá a manévry pre riešenie konfliktných situácií [4]

Condition	Flight Phase		Priority
	A/C 1	A/C 2	
Overtaking = False	Level	Level	Right Hand Aircraft
Overtaking = True	Level	Level	Slower Aircraft
Close To Top Of Descent	Level	Level	Aircraft Staying In Level
	Climb	Level	Aircraft In Level
	Descent	Level	Aircraft In Level
	Climb	Descent	Aircraft In Descent
	Climb	Climb	EFR
	Descent	Descent	EFR
Emergency			Aircraft In Emergency State

Poslednou možnosťou riešenia konfliktných situácií je koordinácia cez vyhradený hlasový komunikačný spoj medzi riadiacimi. Ten by ale mal byť využívaný len vo veľmi komplikovaných situáciách alebo pri konfliktoch, ktoré nepokrýva tabuľka 1.

### 3.1.3 Safety net

Letectvo je známe tým, že množstvo systémov resp. procedúr má niekoľko bezpečnostných vrstiev alebo záložných, prípadne aj núdzových systémov. Ak teda zlyhá či už technické zariadenie alebo ide o ľudskú chybu, vždy je k dispozícii niekoľko bezpečnostných vrstiev k potlačeniu núdzovej situácie. Práve to označuje pojem safety net.

DLR uvádza, že pri nimi vykonanej simulácii bolo otestovaných niekoľko systémov a postupov, ktoré by mohli mať pozitívny dopad na safety net v sectorless prostredí. Pre rôzne situácie sú k dispozícii prostriedky na detekciu a riešenie konfliktov a prostriedky na špeciálne situácie. [13]

#### 3.1.3.1 Prostriedky na detekciu a riešenie konfliktov

Nasledujúce systémy pomáhajú riadiacim letovej prevádzky vyhľadať a včas riešiť potenciálny konflikt. [13] Jedná sa hlavne o:

##### Detekcia konfliktov v strednodobom horizonte (MTCD)

Pri simulácii riadiaci zdôrazňovali, že prostriedky na detekciu konfliktov je jeden z najdôležitejších nástrojov pre sectorless koncept. [13] Pomocou MTCD dostane ATCO

informáciu o možnom konflikte 20 minút pred tým ako lietadlo presiahne predpísané minimá separácie podľa predpisov. [13] Tento systém by mal následne kooperovať so systémami a procedúrami na riešenie konfliktov popísanými vyššie.

### **Tlačidlo rozpoznania konfliktu**

Toto zariadenie slúži hlavne na koordináciu riadiacich a myslím, že je to dobrý nástroj pre riadiacich na to, aby si na veľké vzdialenosti dokázali dôverovať. V angličtine, recognized button [13], slúži na potvrdenie riadiaceho, že konflikt je v štádiu riešenia. V momente, kedy je konflikt rozpoznáný, bude mať ATCO, ktorý je zodpovedný za vykonanie manévru, a teda za vyriešenie konfliktu podľa DLR možnosť, ja navrhujem, že by to mala byť povinnosť, stlačiť toto tlačidlo, a tým tak poslať riadiacemu druhého lietadla, ktorý za riešenie konfliktu zodpovedný nie je správu o tom, že konflikt je rozpoznáný.

### **Nástroj minimálnej separácie**

Nástroj čisto na predikciu minimálnej bezpečnej separácie dvoch lietadiel. Systém dokáže vypočítať medzi dvoma vybranými lietadlami buď najkratšiu vektorovú vzdialenosť alebo najkratšiu trajektóriu. [13]

### **Sondovanie konfliktov**

Myslím, že systém na sondovanie konfliktov (probing) [13] je jeden z nástrojov, ktorý by bol schopný navýšiť efektivitu S-ATM konceptu a určite znížiť pracovnú záťaž riadiaceho. Tento systém je pri riešení konfliktu schopný zistiť, či navrhovaný manéver nespôsobí ďalšie možné konflikty. Tým pádom je vylúčené, že by ATCO musel riešiť sériu potenciálnych konfliktov spôsobených v podstate len svojou činnosťou. Logika tohto nástroja by, samozrejme, mala byť súčasťou samotného softvéru na riešenie konfliktov nech už bude v akejkoľvek podobe.

## **3.1.3.2 Postupy v neštandardných situáciách**

Jedná sa o nástroje, ktoré poskytujú lepšiu safety net v prípade, keď sa objaví neobvyklá situácia [13]:

### **Neriešený konflikt**

K dispozícii je niekoľko krokov ako postupovať v prípade, že ATCO zodpovedný za konflikt z nejakého dôvodu konflikt nevyrieši. V prvom kroku systém informuje, že riziko konfliktu sa zväčšuje, ale stále nebola vykonaná žiadna akcia na jeho zabránenie. V druhom kroku by mal ATCO, ktorý zodpovedá za konflikt kontaktovať riadiaceho druhého lietadla kvôli prípadnému koordinovanému manévru. V takýchto prípadoch teda navrhujem ich spojenie cez vyhradené hlasové spojenie medzi riadiacimi. V ďalšom kroku, ak by predchádzajúce dva nezabrali, by

zodpovednosť za konflikt automaticky prešla na riadiaceho, ktorý zaň doposiaľ zodpovedný nebol. Otázkou v tomto kroku ostáva, v akom momente by na tohto riadiaceho zodpovednosť prechádzala. Myslím, že lepším variantom by bolo dať časový limit na vyriešenie konfliktu riadiacemu, ktorý je primárne zodpovedný za vykonanie potrebného manévru a ak by sa tak nestalo, tak by sa zodpovedným stával automaticky druhý ATCO. Ak by zlyhal aj druhý riadiaci, tak by piloti museli dôverovať už len systémom typu ACAS.

### **Konflikt viacerých lietadiel**

Je možné, že aj v sectorless koncepte budú vznikať konflikty medzi niekoľkými lietadlami. [13] V tomto prípade, sa podľa simulácie DLR, budú využívať podobné postupy ako pri konflikte dvoch lietadiel, a zároveň by to pre riadiacich letovej prevádzky nemalo mať zvláštny dopad na ich pracovnú záťaž. Pre väčšiu bezpečnosť by ale možno bolo dobré, keby zainteresovaní riadiaci boli schopní vzájomného kontaktu, aj keď takýto kontakt by mal prísť ďaleko pred tým než zareagujú nástroje safety net.

### **Strata prehľadovej situácie a zlyhanie datalinkového a rádiokomunikačného zariadenia**

Zlyhanie všetkých týchto troch systémov by bolo v sectorless prostredí pravdepodobne najkritickejším. [13] Preto je potrebné pre každý z týchto systémov zabezpečiť vhodný záložný systém, čo je ale dostatočne riešené už aj v konvenčnom systéme. Sectorless koncept počíta s datalinkom ako s najvyužívanejším komunikačným prostriedkom na výmenu informácií. V prípade jeho výpadku, sa ale, samozrejme, môže nahradiť rádiokomunikačnými prostriedkami.

## **3.2 Technické aspekty**

Prechod riadenia vzdušného priestoru z konvenčného systému na S-ATM koncept okrem iného znamená aj to, že zaužívané postupy v komunikácii a technické zázemie komunikácie medzi riadiacim letovej prevádzky a posádkou lietadla sa bude musieť v určitej miere zmeniť.

V dnešnom konvenčnom systéme sa každému sektoru prideluje jedna frekvencia, na ktorej ATCO komunikuje so všetkými lietadlami vo svojom sektore. V sectorless koncepte bude mať ATCO tak isto všetky svoje lietadlá na jednej frekvencii, ale rozmiestnené budú pravdepodobne po celej krajine a otázkou je ako takýto veľký priestor pokryť, pretože určite na to nebude stačiť jedna rádiostanica.

K dispozícii sú tri možné riešenia komunikácie, s ktorými budeme ďalej pracovať. Konkrétne ide o:

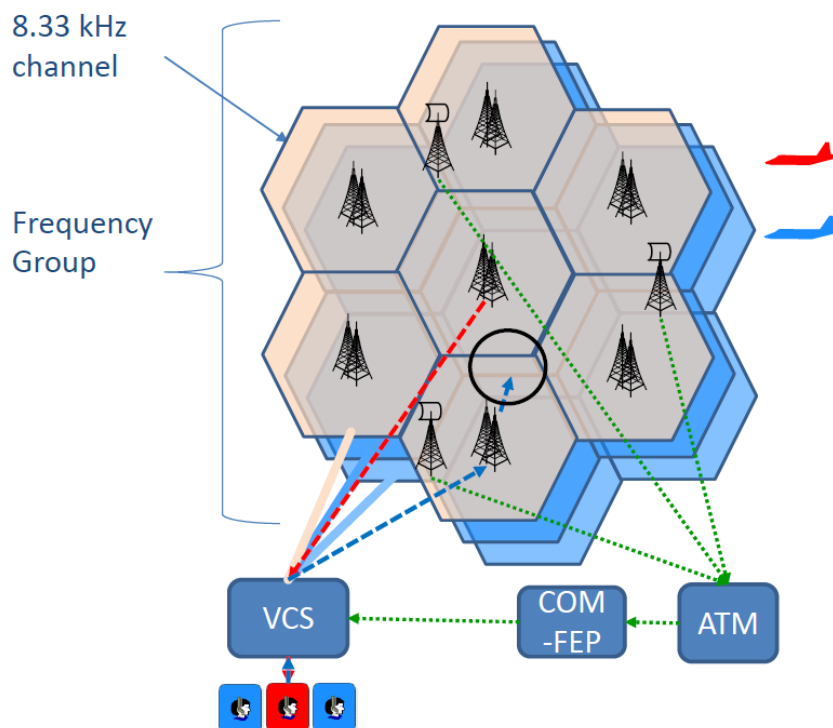
- Nemecký model komunikačnej infraštruktúry
- CLIMAX

- Satelitná komunikácia
- LDACS

### 3.2.1 Nemecký model komunikačnej infraštruktúry

DFS bude chcieť ako riešenie komunikácie v sectorless prostredí využiť pravdepodobne nasledujúci spôsob. V prvej fáze implementácie sectorless konceptu bude na pokrytie oblasti Karlsruhe DFS využívať minimálne 5 Tx/Rx, čiže vysielač/prijímač oblastí, operujúcich na frekvencii 8,33 kHz. Zároveň jednou z prevádzkových požiadaviek je využívanie CPDLC tak ďaleko ako to bude možné, avšak každý aktívny ATCO, pracujúci v sectorless koncepte bude stále vyžadovať pridelenie frekvencie na hlasovú komunikáciu.

V prevádzke budú všetky prijímače po celý čas a VCS vyberie najkvalitnejší príjem z jednotlivých lokalít a pomocou BSS systému, ktorý najlepší príjem vyberie vyhodnotením sily signálu a pomeru signál/šum. Pozemný vysielač bude v jednom okamihu aktivovaný len jeden a to na základe známej polohy lietadla, získanej pomocou informácií z prehľadového systému (SSR, PSR či ADS-B), opäť cestou VCS. Potrebné bude teda preniesť prehľadovú informáciu do VCS a tak bude následne aktivovaná platforma daného vysielača, čo je oproti súčasnému konceptu úplne nová funkcionálna. Princíp spôsobu Nemeckého modelu komunikačnej infraštruktúry môžeme vidieť na obrázku 4.



Obrázok 4. Princíp komunikačnej infraštruktúry modelovanej v Nemecku [5]

Problémom však je, že takáto komunikácia bude pre DFS postačujúca len v prvej fáze. Pre ďalšie dve fázy je potrebné vyvinúť systém na digitálnu point-to-point komunikáciu.

Otázkou ale je, ako VCS zistí, s ktorým lietadlom chce ATCO v danom momente vlastne komunikovať. VCS na to nepríde sám, a teda je potrebná určitá interakcia systému s riadiacim. Pri simulácii v maďarskej časti vzdušného priestoru riadiaci letovej prevádzky jednoducho klikali na svojom radarovom displeji na označenie lietadla, s ktorým chceli komunikovať a následne už prebehol proces aktivovania vhodného pozemného vysieláča, pričom Budapešť ACC vzdušný priestor bol v čase simulácie pokrytý dvoma vysieláčmi. Riadiaci, ktorí boli zapojení do simulácie následne potvrdili, že boli bez väčších problémov schopní komunikovať s pilotmi, aj keď ja si myslím, že neustále klikanie na označenie lietadiel na radarovom displeji by mohlo zvýšiť pracovnú záťaž riadiacich, minimálne v oblasti s hustou prevádzkou, kde bude vyžadovaná väčšia intervencia riadiacich. Preto by bolo lepšie využívať isté efektívnejšie systémy dnešnej doby.

Pre mňa je celkom reálne využiť systém na rozpoznávanie hlasu a reči, ktoré už bežne fungujú v rôznych softvéroch moderných technológií. Tak ako dokážeme napríklad Googlu nadiktovať, čo má napísať, by aj ATCO mohol jednoducho vysloviť označenie daného lietadla, s ktorým chce komunikovať a to by sa mu automaticky na displeji zvýraznilo, akoby naňho klikol. V praxi by teda ATCO vyslovil označenie lietadla napr. OK1234, to by sa následne po aktivovaní vhodného vysieláča zvýraznilo aj na jeho radarovom displeji a riadiaci by tak vedel, že môže komunikovať.

Otázkou avšak je, s akou presnosťou a rýchlosťou by takýto softvér dokázal pracovať. Pre čo najpresnejšie rozpoznávanie reči je potrebné dodržiavať niekoľko zásad – rozpoznávanie hlasu a reči funguje najlepšie v nehučnom prostredí [16] – teda ak využívame túto funkciu napríklad na svojich smartfónoch, tak zapnuté rádio alebo televízor môže spôsobovať problémy so správnosťou rozpoznávania reči. Ale myslím, že pracovné prostredie riadiacich letovej prevádzky tento problém dostatočne eliminuje. Zároveň platí, že pri diktovaní musíme hovoriť zrozumiteľne a gramaticky správne [16], čo znamená, že pre leteckú komunikáciu by musel takýto softvér byť upravený na rozpoznávanie leteckej angličtiny a leteckej frazeológie. Podobný problém a výskum sa už riešil a simuloval v projekte MALORCA [29], v ktorom sa skúmala práve účinnosť možného využitia automatického rozpoznávania reči. V rámci projektu bol vyvinutý aj systém, ktorý dokáže automaticky učiť lokálne akustické a sémantické vzorce, ktoré sú spolu s údajmi z radaru automaticky vložené do softvéru na rozpoznávanie hovorenej reči. Tento systém bol úspešne otestovaný riadiacimi letovej prevádzky vo Viedni a v Prahe. [29] Ďalej by problémom mohlo byť samotné aktivovanie rozpoznávania reči. Či už v smartfóne alebo v systémoch od Microsoftu je na zapnutie tejto funkcie potrebných niekoľko kliknutí, čo je pre nás neakceptovateľné, pretože potom by nám logicky viac vyhovovala predošlá možnosť kliknutia na označenie daného lietadla. Ale myslím, že pre prostredie leteckej komunikácie by nebol problém vyvinúť taký systém, ktorý by sa aktivoval buď maximálne jedným kliknutím

alebo hlasovým dohodnutým zvolaním na aktiváciu hlasového rozpoznávania, čo si myslím, že je ďaleko efektívnejší aj efektnejší spôsob, ale je potrebné, aby celý tento proces prebehol čo najrýchlejšie. Moderné aplikácie uvádzajú aktivácia systému rozpoznávania reči trvá asi 3 sekundy, čo si myslím, že pre potreby leteckej komunikácie, hlavne v oblasti s hustou prevádzkou a častou komunikáciou, je príliš dlhá doba, ktorú je potrebné skrátiť.

Ďalšou možnosťou, ktorú by som si vedel predstaviť ako návrh na riešenie tohto problému je tentokrát systém zrkovného rozpoznávania. Išlo by o softvér, ktorý by dokázal rozpoznať, na ktoré lietadlo sa ATCO v danej chvíli pozerá, to by sa mu opäť na displeji podobne ako pri hlasovom rozpoznávaní zvýraznilo a mohol by komunikovať s posádkou. Problémom však je, že ATCO sleduje v rozmedzí niekoľkých sekúnd určite niekoľko lietadiel, tým pádom by sa na takomto systéme musela nastaviť jeho primeraná časová citlivosť, aby sa pri každom pohybe očí nezvýraznilo iné lietadlo, ale zároveň, aby sa ATCO na označenie jedného lietadla nemusel pozeráť príliš dlho. Vyriešiť by sa to dalo podobne ako pri rozpoznávaní reči tak, že systém zrkovného rozpoznávania by sa aktivoval len v určitej chvíli napríklad v momente, kedy by ATCO zakľučoval nožným pedálom a v tej chvíli by sa riadiaci musel pozeráť na označenie daného lietadla. Pri tejto možnosti sa nám ale naskytá otázka, aká veľká by bola chybovosť rozpoznávania, na ktoré lietadlo sa ATCO v skutočnosti pozerá.

Teoreticky by sa dali tieto dva systémy – systém na rozpoznávanie hovorenej reči a systém zrkovného rozpoznávania, pri riešení tohto problému aj zjednotiť, kedy by sa systém na rozpoznávanie zraku mohol spúšťať práve hlasovým rozpoznávaním, kedy by sa vyslovením jedného konkrétneho slova, ktoré by rozpoznal systém rozpoznávania hovorenej reči, automaticky spustil systém zrkovného rozpoznávania, ale to by bol pravdepodobne už príliš zložitý systém a riadiaci letovej prevádzky by z toho nemuseli byť úplne nadšení a ich pracovná záťaž by sa mohla ešte zvýšiť.

### **3.2.2 CLIMAX s 8,33 kHz alebo 25 kHz kanálovou separáciou**

V leteckej komunikácii sa často využíva systém s kmitočtovo posunutou nosnou tiež známy pod názvami Climax, Offset Carrier či Multi-carrier System. Tento systém slúži k pokrytiu požadovanej oblasti, kedy sú časti danej oblasti v rádiovom tieni kvôli hornatému terénu alebo na pokrytie väčších sektorov. V takýchto prípadoch je potom nutné vysielat' z niekoľkých lokalít na rovnakom kmitočtovom kanále. Ak je aplikovaná kanálová separácia 25 kHz, vysielacie kmitočty sú v jednotlivých lokalitách vzájomne posunuté podľa tabuľky 2 tak, aby sa stále vošli do prideleného kmitočtového kanálu 25 kHz. Ak by sa simultánne vysielalo bez posunu nosnej, na palubnom prijímači by dochádzalo kvôli fázovým posunom jednotlivých signálov k zhoršeniu alebo aj k výpadkom príjmu. Pre vysielanie zem – vzduch sa pri kanálovom odstupe 25 kHz využíva minimálne 2 a maximálne 5 vysielateľov. Ak používame využíva

kanálový odstup 8,33 kHz a sme v tomto prípade pre využitie Climaxu schopný použiť maximálne 2 vysielacie, pričom vysielacie kmitočty sú od nosnej posunuté o +/- 2,5 kHz.

Tabuľka 2. Posunutie vysielacích kmitočtov pri použití systému Climax

Offset Carrier	- 2 <sup>nd</sup> offset	- 1 <sup>st</sup> offset	carrier	+ 1 <sup>st</sup> offset	+ 2 <sup>nd</sup> offset
2-carrier system	x	- 5 kHz	x	+ 5 kHz	x
3-carrier system	x	- 7.3 kHz	carrier	+ 7.3 kHz	x
4-carrier system	- 7.5 kHz	- 2.5 kHz	x	+ 2.5 kHz	+ 7.5 kHz
5-carrier system	- 8 kHz	- 4 kHz	carrier	+ 4 kHz	+ 8 kHz

Ak by sme teda chceli aplikovať Climax napríklad v hornom vzdušnom priestore UIR Karlsruhe, ktorý je popísaný vyššie, tak pri kmitočte 8,33 kHz, by systém s kmitočtovo posunutou nosnou nešiel použiť, pretože na pokrytie vzdušného priestoru nad FL375 v oblasti Karlsruhe je potrebných 5 vysieláčov. V praxi to teda znamená, že pri kanálovom odstupe 8,33 kHz sme v sectorless koncepte použiť Climax len na obmedzenom menšom priestore. Druhou možnosťou je vrátiť sa k 25 kHz kanálovej separácii, čo sa dá spraviť pomerne jednoducho, keďže nové rádiové zariadenia, pracujúce s kanálovou separáciou 8,33 kHz sú schopné pracovať ako s 8,33 kHz kanálovým odstupom, tak aj s 25 kHz odstupom, pričom to záleží čisto len na voľbe užívateľa. Napríklad, ak si užívateľ vyberie frekvenciu s 25 kHz separáciou ako je napríklad frekvencia 132.000, tak takéto nové zariadenie bude pracovať presne ako staré zariadenia s 25 kHz kanálovou separáciou, ak ale užívateľ vyberie kanál napríklad 132.005, tak rádio bude fungovať v móde s kanálovou separáciou 8,33 kHz. Vo väčšine prípadov sú tieto rádiá vybavené prepínačom, ktorý užívateľom jednoducho umožňuje prepínať medzi 25 kHz a 8,33 kHz režimom. Samozrejme, je nevyhnutné, aby bolo takéto zariadenie nakonfigurované v správnom režime, aby sme boli schopní vybrať požadovaný správny kanál alebo frekvenciu. [14]

V tabuľke 3 môžeme vidieť príklady párovania medzi kanálmi a nosnými frekvenciami pre kanálovú separáciu 25 kHz a 8,33 kHz. [14]

Tabuľka 3. Príklady párovania kanálov a frekvencií pre kanálovú separáciu 25 kHz a 8,33 kHz [14]

Old 25kHz radio	New 8.33kHz radio				
	Dial selection			Real TX/RX frequency	
Frequency	Dial	25kHz Frequency	8.33kHz Channel	Frequency (Mhz)	Spacing (kHz)
118.000	118.000	118.000		118.0000	25
	118.005		118.005	118.0000	8.33
	118.010		118.010	118.0083	8.33
	118.015		118.015	118.0167	8.33
118.025	118.025	118.025		118.0250	25
	118.030		118.030	118.0250	8.33
	118.035		118.035	118.0333	8.33
Etc.....					

Pre problém komunikácie v sectorless koncepte, ktorý, minimálne v počiatočných fázach, bude implementovaný len v hornom vzdušnom priestore, znamená možnosť využitia jednej rádiostanice v režime 25 kHz aj 8,33 kHz kanálovej separácie, zvýšenie šancí pre využitie CLIMAXu v sectorless prostredí, keďže v lokalitách, kde sa už bežne využíva kanálová separácia 8,33 kHz, by využitie konceptu Climax s 8,33 kHz kanálovým odstupom, nemuselo stačiť na pokrytie daného územia a vďaka kompatibilným rádiostaniciam schopným pracovať s 8,33 kHz aj 25 kHz kanálovou separáciou, by sme sa mohli pomerne jednoducho, s využitím súčasnej infraštruktúry vrátiť k 25 kHz separácii a pokrývať tak väčšie územia.

### 3.2.3 Aircom Satellite Voice

Tretou možnosťou riešenia komunikácie v sectorless prostredí je satelitná komunikácia. Základom satelitných systémov je družica (satelit), nachádzajúca sa na stabilnej orbite Zeme. [26]

Jedným z konkrétnych systémov satelitnej komunikácie, ktorý by mohol riešiť problém komunikácie v sectorless prostredí je Aircom Satellite Voice systém, na ktorom pracuje spoločnosť SITA. V podstate ide o umožnenie satelitnej hlasovej komunikácie prostredníctvom

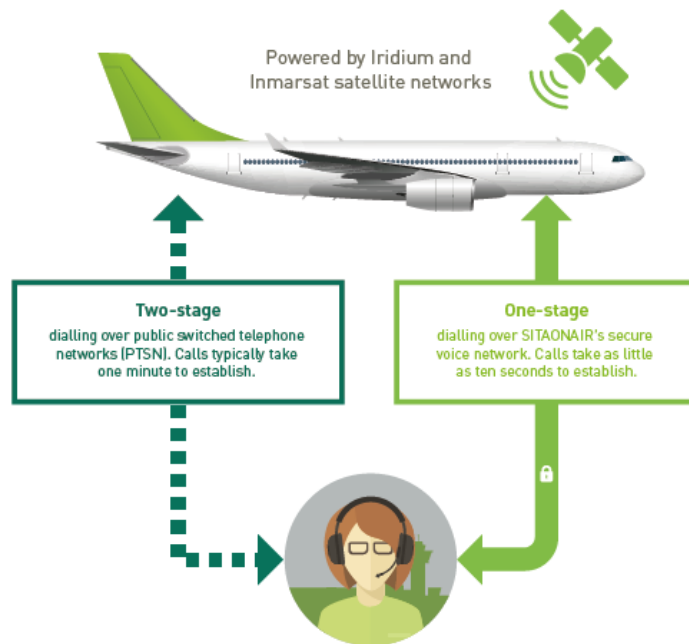


sietí Inmarsat a Iridium, ktoré sú schopné umožniť ako A/G tak aj G/A satelitnú hlasovú komunikáciu, ktorá by udržala posádku lietadla a pozemné služby riadenia leteckej prevádzky v kontakte v každej fáze letu. Aircom Satellite Voice je taktiež schopný spolupracovať so všetkými typmi lietadiel a so všetkými sieťami pre satelitnú komunikáciu v kokpíte. [22]

Hlavným benefitom, ktorý by mal Aircom Satellite Voice systém priniesť prevádzkovateľom letových navigačných služieb je možnosť poskytnúť globálne pokrytie vysokej kvality v porovnaní s tradičným HF alebo VHF hlasovým pokrytím, čo prináša hlavne bezpečnostné benefity, keďže vďaka využitiu satelitných sietí Iridium a Inmarsat je možné poskytnúť spoľahlivé komunikačné spojenie pre lietadlá, ktoré lietajú nad oceánom alebo v odľahlých oblastiach, kde je HF a VHF krytie zložité implementovať resp. je v slabej kvalite. [22]

Ďalšie benefity spočívajú napríklad v jednoduchosti systému. Poskytuje autorizovaným užívateľom nepretržité spojenie s posádkou, znižuje pracovnú záťaž a zvyšuje efektivitu. Zároveň by sa mala zvýšiť bezpečnosť a čistota komunikácie medzi riadiacimi letovej prevádzky a pilotmi, keďže na rozdiel od tradičnej komunikácie v prostredí HF a VHF je toto spojenie zabezpečené, a tak je už nemožné, aby komunikáciu počúvala aj tretia strana.

Poslednou dôležitou výhodou systému je rýchlosť spojenia. Normálne G/A volanie pomocou satelitných telefónov od spoločností poskytujúcich technológie pre satelitnú hlasovú komunikáciu, ako sú Iridium, Inmarsat, Globalstar alebo Thuraya, zahŕňa dvojfázové vytáčanie cez verejnú telefónnu sieť (PSTN), ktoré bežne trvá aj minútu, pretože na začatie takéhoto hovoru musí užívateľ najprv vytočiť prístupové číslo, následne zadať PIN kód a potom označenie lietadla. Aircom Satellite Voice systém ponúka vďaka súkromným pozemným sieťam možnosť jednofázového vytáčania, pričom hovory sú smerované priamo prostredníctvom týchto súkromných sietí s prednastavenými identifikačnými znakmi a automatickým autentifikačným procesom, ktorý obchádza potrebu dvojfázového overovania. Takýto proces dokáže skrátiť čas vytáčania až na 10 sekúnd. [22] Porovnanie dvojfázového a jednofázového vytáčania môžeme vidieť na obrázku 5.



Obrázok 5. Porovnanie jednofázového a dvojfázového vytáčania [22]

Ako už bolo spomenuté, Aircom Satellite Voice bude využívať satelitné siete Iridium a Inmarsat:

### Iridium

Iridium je najstaršou sieťou satelitnej komunikácie. Pôvodne bola zameraná hlavne na satelitné telefonovanie, ale vývoj technológií postupne priniesol dôraz aj na dátové služby. V novej satelitnej sieti Iridium Next teraz operátor spustil do prevádzky službu Iridium Certus. Podľa spoločnosti predstavuje konštelácia družíc Iridium Next jedinú sieť pre hlasovú a dátovú komunikáciu so skutočne globálnym pokrytím. [19]

Spoločnosť Iridium v spolupráci so spoločnosťou SpaceX vyniesla do roku 2019 v projekte Iridium Next na nízku obežnú dráhu (LEO) spolu 75 družíc, z ktorých je aktívnych 66 a tie sú rozdelené do šiestich skupín s jedenástimi satelitmi v každej skupine. Satelity sa nachádzajú vo výške 780 km nad zemským povrchom a v tejto výške je každý satelit schopný pokryť plochu v okruhu 4 700 km, pričom je viditeľný pozemného strediska približne na 9 minút. [21] Vďaka malému prekryvaniu medzi jednotlivými satelitmi, sieť Iridium odovzdáva hovor vždy ďalšiemu satelitu, ktorý je viditeľný zo zeme.

Iridium Certus je pokročilá platforma určená na vývoj špeciálnych aplikácií a ponúkajúca viacero služieb. [19] V podstate je zatiaľ jedinou skutočne globálnou širokopásmovou službou, ktorá ponúka mobilný internet a kvalitný hlasový prístup. Služba podporuje funkcie mobilnej

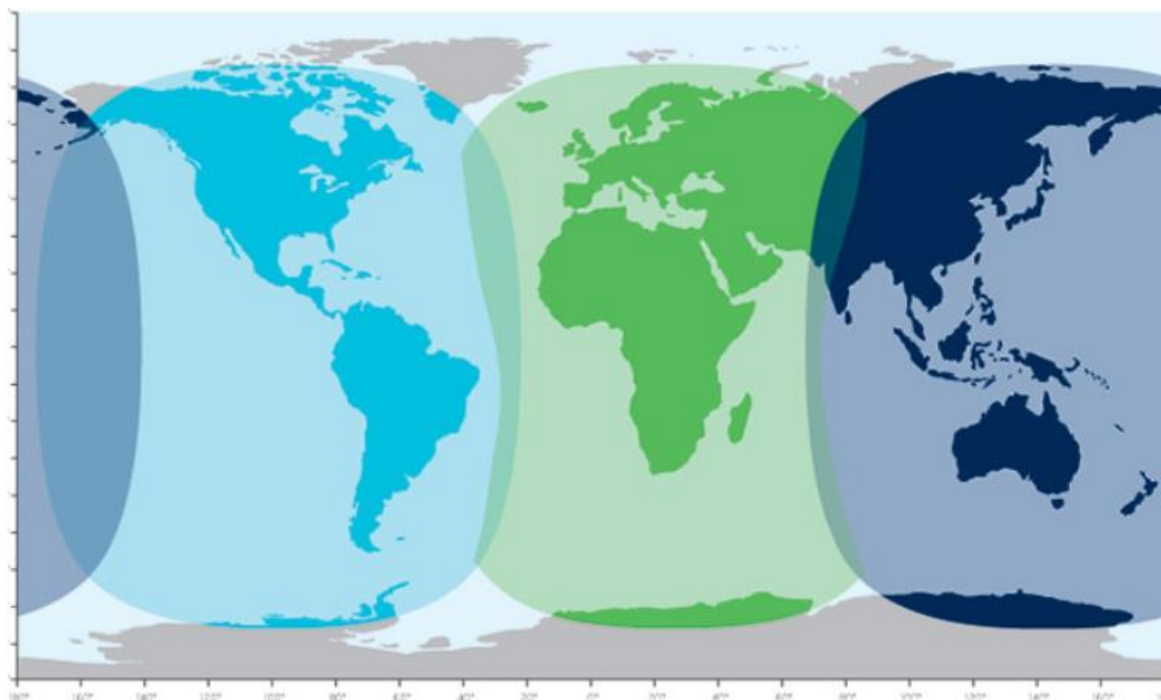
kancelárie a obojsmernú diaľkovú komunikáciu pre zabezpečovacie systémy, autonómne vozidlá, vlaky, lietadlá aj námorné lode.

Služby platformy Iridium Certus sú poskytované pomocou zariadenia Iridium Connected na podporu hlasovej aj dátovej komunikácie. [20]

### **Inmarsat**

Spoločnosť Inmarsat v súčasnosti vlastní a prevádzkuje satelitnú sieť s trinástimi satelitmi vo výške 35 786 km priamo nad zemským rovníkom v geostacionárnej orbite, ktorá je špeciálnym typom geosynchrónnej obežnej dráhy. Momentálne sú ale z trinástich satelitov aktívne len 3 geostacionárne satelity, ktoré dokážu pokryť takmer celú Zem. [23]

Satelity poskytujú prenos rádiového signálu v dvoch globálnych konfiguráciách pokrývajúce oceány a veľké pozemné plochy. Je dôležité dodať, že satelity Inmarsatu pokrývajú priestor od 82° severnej zemepisnej šírky až po 82° južnej zemepisnej šírky, bez ohľadu na zemepisnú dĺžku, takže vyššie zemepisné šírky ako polárne oblasti pokryté nie sú. [23]



*Obrázok 6. Pokrytie Zeme tromi aktívnymi satelitmi od spoločnosti Inmarsat [23]*

Na obrázku 6 je zobrazené pokrytie Zeme satelitnou sieťou Inmarsat. Môžeme vidieť, že polárne oblasti sú pokryté len veľmi okrajovo, čo ale nepredstavuje problém, keďže ide v podstate o neobývané oblasti s minimálnou leteckou prevádzkou.

### 3.2.4 LDACS

Posledným komunikačným riešením, ktoré by bolo možné aplikovať do prostredia sectorless je systém LDACS (L-band Digital Aeronautical Communications System), ktorý je schopný podporovať ako hlasovú tak aj dátovú komunikáciu. Tento systém je už plne vo vývoji v rámci programu SESAR a považuje sa za evolúciu v leteckej komunikácii.

LDACS poskytuje bezpečné, spektrálne efektívne a vysokorýchlostné dátové spojenie určené na pokrytie služieb ATS a AOC, a zároveň spojenie pre hlasovú komunikáciu, pričom dokáže riadiť priority týchto služieb, čo je dôležitá vlastnosť, ktorá v niektorých súčasných systémoch chýba. [17] Jednou z najdôležitejších vlastností je aj dobrá škálovateľnosť systému, čo nám umožňuje postupné zavádzanie systému do prevádzky spolu s už inštalovanými systémami, čiže LDACS môže byť inštalovaný aj účelovo na doplnenie už existujúcej infraštruktúry na miestach, kde to je potrebné.

#### 3.2.4.1 Technické zázemie

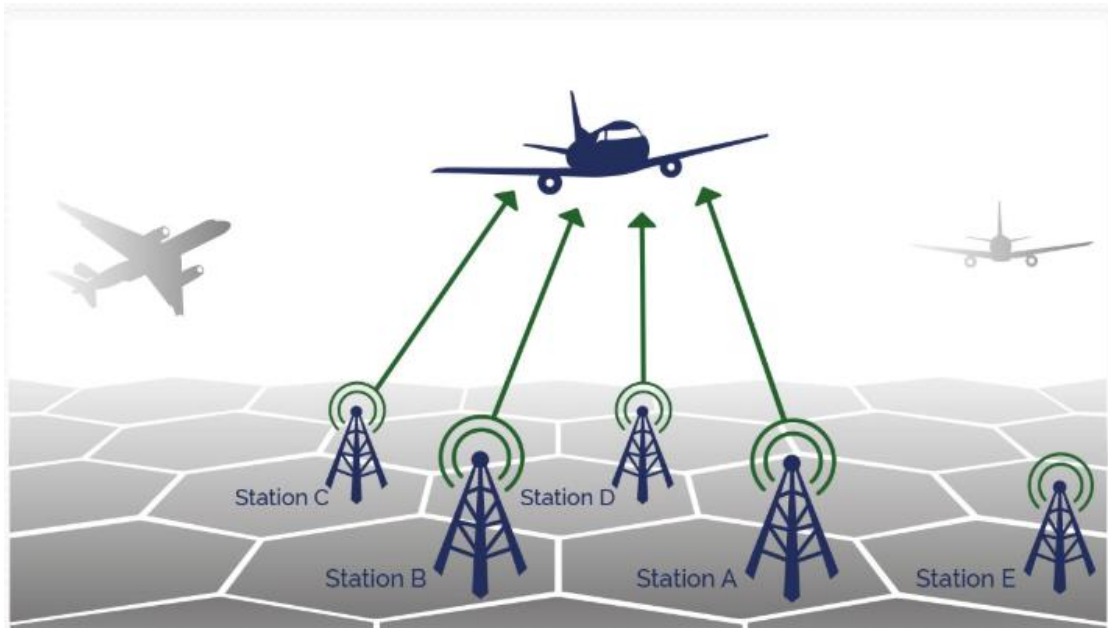
LDACS je širokopásmový komunikačný systém založený na OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) modulácii a zdieľa mnoho technických konceptov so 4G bezdrôtovými komunikačnými systémami. Poskytuje digitálne dátové a hlasové spojenia medzi pozemnými stanicami a lietadlami nad kontinentmi a nad oceánskymi oblasťami je podporovanými satelitnými systémami. Systém bude prevádzkovaný vo frekvenčnom pásme L, ktoré je v rozsahu frekvencií od 960 do 1164 MHz. [18]

Najdôležitejšími požiadavkami pri vývoji systému LDACS sú:

- v dôsledku očakávaného rastu po dopyte leteckej dopravy a postupného prechodu z hlasovej na digitálnu komunikáciu, poskytovať dostatočne vysokú prenosovú kapacitu
- správy ATS a AOC sú kritické z hľadiska času a bezpečnosti, preto musí byť LDACS navrhnutý tak, aby zaručoval bezpečný, spoľahlivý a včasný prenos správ [18]

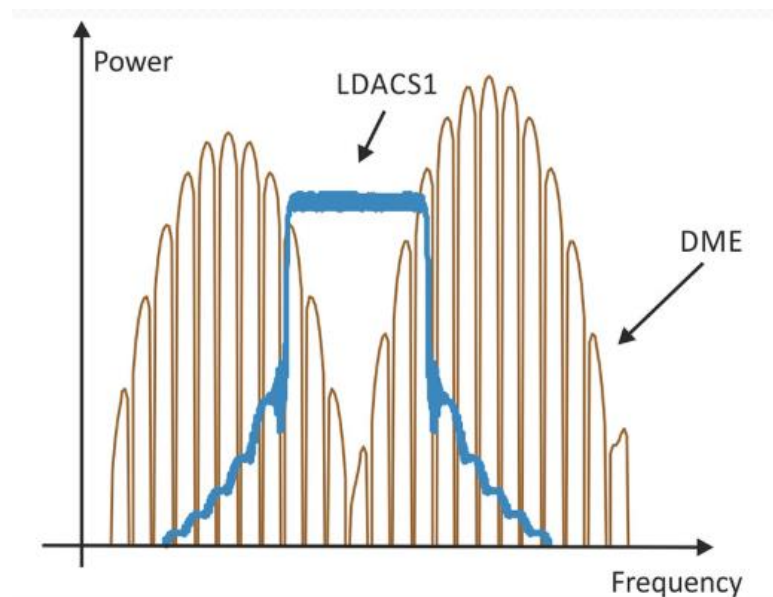
Tieto požiadavky je LDACS schopný spĺňať vďaka celulárnemu (bunkovému) point – to – multipoint konceptu, čo znamená, že vzdušný priestor je rozdelený do určitých buniek, ako môžeme ilustračne vidieť na obrázku 7 a každé lietadlo nachádzajúce sa v niektorej z týchto buniek je spojené s centralizovanou pozemnou stanicou, ktorá riadi celkovú A/G v rámci danej bunky. Mohlo by sa zdať, že tieto bunky predstavujú z hľadiska sectorless konceptu návrat k určitému typu sektorov, ale tieto bunky sú vytvorené čisto len pre potreby aplikovania LDACS systému a nie pre celkové riadenie vzdušného priestoru. Zároveň je LDACS frekvenčne delený duplexný systém, čo dátam umožňuje putovať oboma smermi súčasne, pričom pozemná

stanica vysiela nepretržite na jednej frekvencii, zatiaľ čo lietadlá v rámci bunky vysielajú paralelne na inej frekvencii. [18]



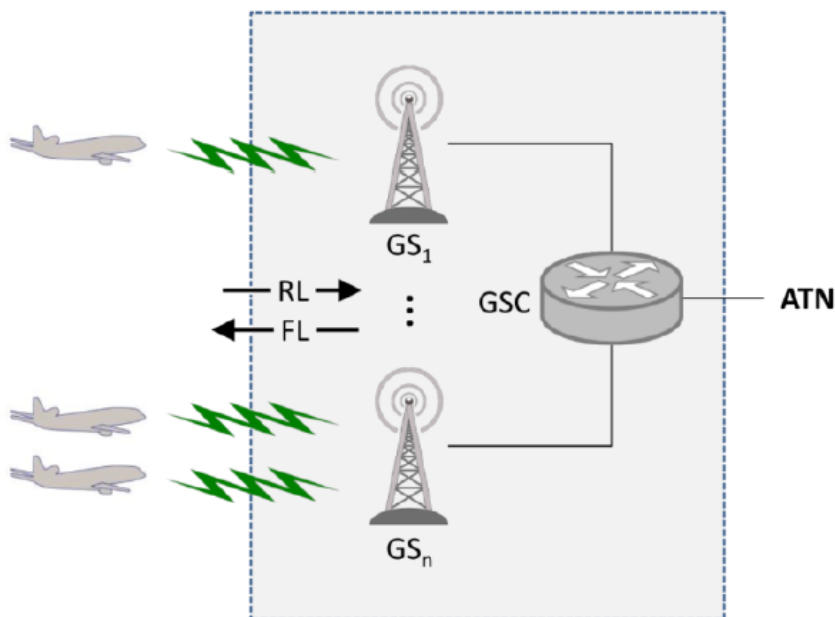
Obrázok 7. Rozdelenie vzdušného priestoru do buniek pre potreby systému LDACS [18]

Problém však je, že frekvenčné pásmo L, ktoré je vyhradené pre LDACS, už je používané aj inými rôznymi systémami. Pre garantovanie vysokej prenosovej kapacity, by mal LDACS vyplňať medzery medzi susednými kanálmi systému DME, ako môžeme pre predstavu vidieť na obrázku 8. [18] Pre efektívne využitie týchto medzier používa LDACS spomínanú OFDM modulačnú techniku, ktorá sa aplikuje aj v systémoch ako sú WiFi alebo LTE a je to širokopásmová modulácia, ktorá využíva frekvenčné delenie kanálu.



Obrázok 8. Vypĺňanie medzier medzi susednými kanálmi systému DME [18]

LDACS tvoria 3 hlavné entity – lietadlová stanica (AS), pozemná stanica (GS) a systém pre riadenie pozemnej stanice (GSC) ako môžeme vidieť na obrázku 9. Jedna pozemná stanica dokáže obsluhovať naraz až 512 lietadiel a zodpovedá za nepretržitý tok dát v doprednom smere (ground – to – air) a v spätnom smere (air – to – ground), ktoré sú oddelované frekvenčne deleným duplexom. [6, 27]. Niekoľko pozemných staníc dokáže byť pripojených k jednej GSC, čo vytvára sub-sieť LDACS systému. GSC je spojením s Leteckou telekomunikačnou sieťou pre priamy presun informácií medzi ATC a lietadlom. [27]



Obrázok 9. Sieť systému LDACS [27]

Samotný systém sa skladá z dvoch vrstiev – fyzickej a datalinkovej. Fyzická vrstva systému je zodpovedná za prenos dát. Vrstva datalinku potom poskytuje potrebné väzby k zabezpečeniu súvislého a spoľahlivého prenosu dátových informácií. Táto vrstva je zároveň rozdelená na dve sub-vrstvy, a to na medium access control (MAC) a logical link control sub-vrstvu. [6] Pre hlasovú komunikáciu je práve vrstva MAC najdôležitejšia, keďže priamo na tejto vrstve je využívaný kanál pre hlasovú komunikáciu prenášajúci hlasové správy cez datalinkovú vrstvu do hlasového rozhrania lietadla na lietadlovej stanici a do hlasovej jednotky umiestnenej v pozemnej stanici. [27] Okrem kanálu pre hlasovú komunikáciu podporuje sub-vrstva MAC aj ďalšie dva kanály, a to Random Access Channel (RA), ktorý môže lietadlová stanica použiť na vyžiadanie prístupu do LDACS bunky, a vysielací kanál (BC), ktorý využíva pozemná stanica na oznámenie jej existencie pre prichádzajúce lietadlo. [27]

Na záver je ešte potrebné dodať, že systém LDACS je ešte vo fáze testovania, simulácií a štandardizovania zo strany ICAO, čiže dá sa predpokladať, že jeho implementácia ešte niekoľko rokov potrvá.

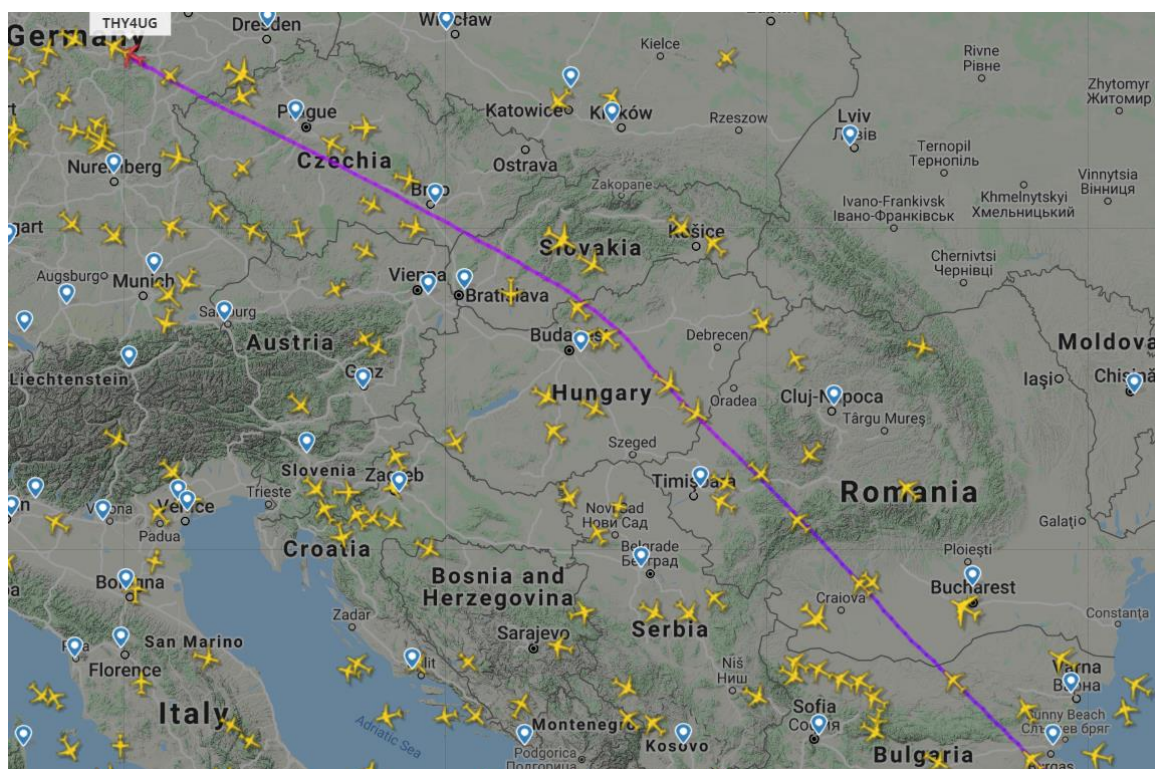


## 4 Výber najlepšieho riešenia komunikačnej infraštruktúry pre definovaný priestor

V tejto kapitole si na konkrétnom území Európy rozanalyzujeme, ktorá z možných komunikačných infraštruktúr popísaných v kapitole 3.2, by na základe svojich benefitov najviac vyhovovala danému definovanému priestoru.

### 4.1 Výber priestoru

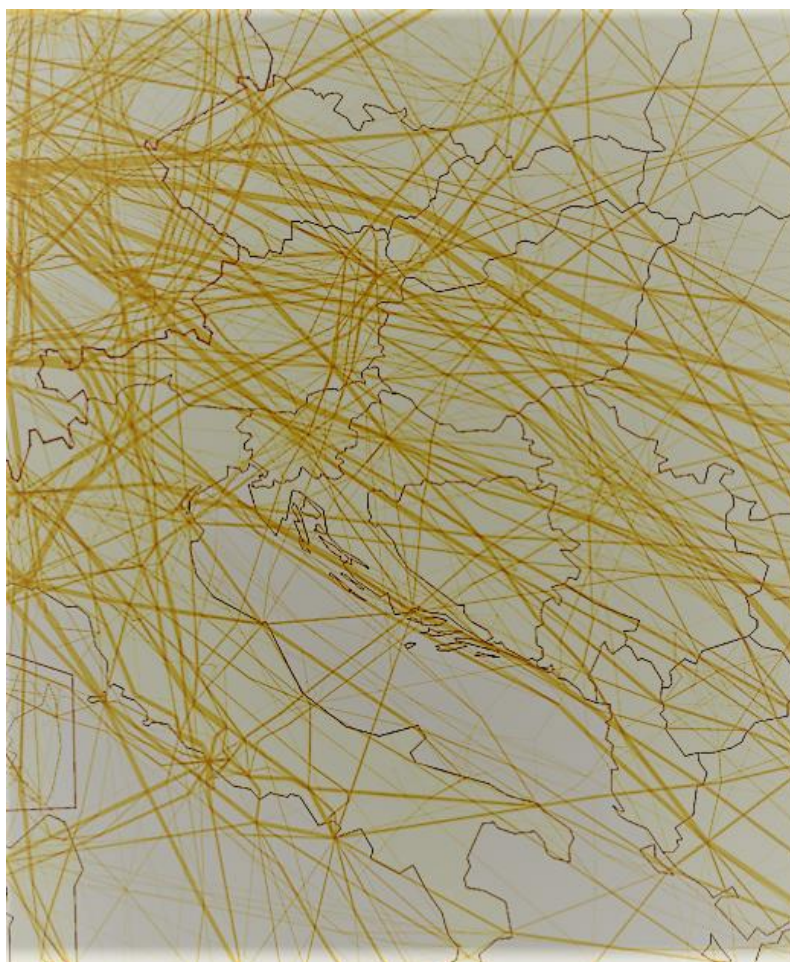
Pre analýzu komunikačných infraštruktúr som si vybral územie troch krajín, ktoré sú súčasťou Stredoeurópskeho funkčného bloku vzdušného priestoru (FAB CE). Konkrétne pôjde o vzdušný priestor štátov Maďarska, Slovenskej republiky a Českej republiky a o lety nad FL375, keďže aj DFS uvažuje o implementácii sectorless konceptu v počiatočnej fáze v oblasti UIR Karlsruhe najprv nad FL385 a potom nad FL375. Na území týchto štátov si teda viem predstaviť implementáciu sectorless konceptu už v počiatočných fázach, a teda je potrebné vybrať vhodnú komunikačnú infraštruktúru, ktorá by tomuto priestoru vyhovovala. Tento priestor som si vybral kvôli skutočnosti, že cez tieto štáty prechádzajú dominantné letecké toky zo západnej Európy a späť, z miest ako sú Amsterdam, Londýn, či Brusel do krajín východnej Európy, Turecka alebo na Arabský polostrov.



Obrázok 10. Letecký tok prechádzajúci cez FAB CE



Na obrázku 10 môžeme vidieť príklad letu, ktorý využíva letecký tok prechádzajúci troma spomínanými krajinami. Ako uvádza aplikácia Flightradar24, ide o let z Istanbulu do Amsterdamu a môžeme si taktiež všimnúť, že na zvýraznenej trajektórii tohto letu sa nachádza niekoľko ďalších letov, pričom na obrázku sa nachádzajú lety s aktuálnou letovou hladinou nad FL375. Na obrázku 11 potom môžeme vidieť, že cez definované územie prechádzajú 2 naozaj dominantné toky a množstvo menších o niečo menej významných tokov.



Obrázok 11. Letecké toky prechádzajúce definovaným územím [30]

Pre doplnenie uvediem, že funkčný blok FAB CE je projektom siedmich štátov – Českej republiky, Slovenska, Maďarska, Slovinska, Chorvátska, Rakúska a Bosny a Hercegoviny, ich poskytovateľov letových navigačných služieb – ŘLP ČR, LPS SR, Austrocontrol, Hungarocontrol, Slovenia Control, Crocontrol a BHANSA, ďalej dozorových orgánov, vojenských zložiek letectva týchto štátov a niektorých ďalších inštitúcií, [24] ale v tejto analýze budeme uvažovať priestor len troch krajín spomenutých vyššie. Vzdušný priestor týchto štátov pokrýva viac ako 529 000 km<sup>2</sup> územia Európy a v tradičnom sektorovom rozdelení je riadený v maximálne šesťdesiatich troch sektoroch z ôsmich oblastných riadiacich centier. [25]

Celkovo je v Európe vytvorených 9 takýchto funkčných blokov, ktoré boli vytvorené hlavne z dôvodu zvýšenia výkonnosti, efektivity, bezpečnosti vzdušného priestoru, a v ktorých by sa postupne mohol implementovať aj sectorless koncept. Územie, ktoré pokrýva FAB CE je zobrazené na obrázku 12.



Obrázok 12. FAB CE [25]

## 4.2 Podkladová analýza pre CBA komunikačných infraštruktúr

### Nemecký model komunikačnej infraštruktúry

Pre:

- Aplikovateľnosť 8,33 kHz kanálovej separácie
- DFS bude využívať vo svojom systéme komunikácie 5 Tx/Rx lokalít, čo ale neznamená, že 5 lokalít musí byť použitých aj na inom území, a preto sa nám otvára možnosť využitia ľubovoľného počtu rádiostaníc, čím by sme dosiahli riešenie, ktoré by nebolo limitované geografickou polohou

Proti:

- Ako navrhujem v rozbere tejto možnosti komunikácie v kapitole 3.2.1, systém by mal zisťovať, s ktorým lietadlom chce ATCO v danej chvíli komunikovať pomocou hlasového prípadne zrkového rozpoznávania, čo ale zároveň zvyšuje komplikovanosť

systému a keďže umelá inteligencia nie je bezchybná, narastá aj pravdepodobnosť možnej chybovosti systému

- Zložitejšie technické riešenie z dôvodu nutnosti prenosu prehľadovej situácie do VCS, čo prináša do systému väčšie komplikácie, a tie môžu vyústiť taktiež do väčšej chybovosti systému
- Nami definované územie by s pozemnou infraštruktúrou (v zmysle využitia súčasných lokalít vysielacích a prijímacích stredísk) nemalo mať žiadny problém ani na implementáciu tohto modelu komunikácie, ale určite bude takýto systém vyžadovať veľký zásah do súčasnej komunikačnej infraštruktúry (VCS), dokonca až taký, že by bolo potrebné vybudovať kompletne nový VCS systém

### **Climax s 25 kHz alebo 8,33 kHz kanálovou separáciou**

Pre:

- Používanie 8,33 kHz kanálovej separácie podporuje európsky koncept implementácie takéhoto kanálového odstupu so snahou pre uvoľnenie frekvencií pre iné služby
- Rádiový horizont jednej rádiostanice pre pokrytie vzdušného priestoru nad FL375 je približne 500 km, čo znamená, že na pokrytie nami definovaného územia budú stačiť 4 rádiostanice – tým pádom budeme schopní použiť Climax s 25 kHz kanálovou separáciou so štyrmi legmi na celom definovanom priestore, pričom vzhľadom na hornatý terén, ktorý je na Slovensku, by sa na dostatočné prekrytie rádiových horizontov jednotlivých staníc mohol použiť aj maximálny počet legov, ktoré Climax s 25 kHz kanálovou separáciou povoľuje, zároveň sa týmto v podstate vylučuje možnosť využitia Climaxu s 8,33 kHz kanálovou separáciou, keďže v tomto prípade sme schopní použiť len 2 legy, čo na pokrytie celého definovaného územia stačiť nebude
- Pri využití systému Climax sa nemusí meniť v technickom riešení komunikácie v podstate nič meniť, keďže použitie Off – set systému je bežné aj pri dnešnom spôsobe riadenia leteckej prevádzky
- Využiť by stačilo už vybudovanú komunikačnú infraštruktúru, prípadne by bolo potrebné ju len naďalej obnovovať, čo znamená nízke náklady

Proti:

- 8,33 kHz kanálová separácia sa v oblastnom riadení v ČR, SR a Maďarsku nepoužíva – stále sa normálne používajú frekvencie s 25 kHz kanálovou separáciou
- Climax s 25 kHz kanálovou separáciou nie je v súlade s európskym trendom znižovania kanálového odstupu na 8,33 kHz

## **Aircom Satellite Voice**

Pre:

- Globálne pokrytie vysokej kvality – pri použití geostacionárneho satelitu je možné signálom pokryť až  $\frac{1}{4}$  Zeme
- Veľmi vysoká kvalita prenosu, aj keď sú satelitné spojenia náchylné na jednorazové výpadky prípadne pokles kvality prenosu
- Cena systému nebude závislá na veľkosti priestoru implementácie S-ATM konceptu
- Satelitná komunikácia je nezávislá od pozemnej infraštruktúry. Satelity nie sú vystavené prírodným katastrofám a ak dôjde k výpadkom v pozemnej infraštruktúre, či už z dôvodu vplyvu prírody alebo výpadkom spôsobeným človekom, satelitné spojenie ostane funkčné

Proti:

- Vysoká cena za prenosy. Náklady pre poskytovateľov leteckých navigačných služieb sú omnoho vyššie než pri využívaní terestriálnych systémov, s čím je spojená aj efektivita využívania satelitných systémov na pomerne malom území, ktoré sme si zvolili, keďže tu spoľahlivo dokážu pracovať terestriálne systémy za nižšie náklady.
- Najväčšou nevýhodou satelitnej komunikácie je ale samotné naviazanie spojenia s lietadlom resp. čas potrebný na naviazanie komunikácie, ktorý je systém Aircom Satellite Voice dokázal skrátiť z minúty na približne 10 sekúnd, stále je to pre potreby nie len sectorless konceptu, ale všeobecne leteckej komunikácie príliš dlhá doba v zmysle, že hlasová komunikácia má slúžiť pre časovo kritickú komunikáciu
- Nie všetky lietadlá, hlavne staršie typy, sú prispôbené svojím vybavením na využívanie satelitnej komunikácie, čo by znamenalo ďalšie náklady pre leteckých dopravcov

## **LDACS**

Pre:

- Podpora ako dátovej, tak aj hlasovej komunikácie
- Systém by svojou inštaláciou neovplyvňoval žiadne už využívané komunikačné systémy, keďže nepotrebuje pridelenie žiadnych kmitočtov z VHF komunikačného leteckého pásma
- V súlade s budúcou európskou koncepciou komunikačnej infraštruktúry – systém by sa mal do budúca stať hlavným A/G komunikačným pilierom
- Jediný budúci systém, ktorý podporuje ako hlasovú tak aj dátovú komunikáciu

Proti:

- Pravdepodobne bude potrebné výrazne prebudovať pozemnú infraštruktúru, čo bude stáť nemalé finančné prostriedky
- Pri vývoji sa objavili možné kybernetické hrozby ako napríklad, úmyselné preťaženie siete, vkladanie správ treťou stranou, ktoré môžu ohroziť plynulosť a bezpečnosť leteckej dopravy alebo úmyselné rušenie signálu. Tieto hrozby je, samozrejme, nutné eliminovať pre maximálnu bezpečnosť leteckej dopravy
- Systém je stále vo vývoji a potrvá niekoľko rokov, kým bude štandardizovaný a pripravený na použitie

### **4.3 Najvhodnejšia komunikačná infraštruktúra pre definované prostredie**

Vzhľadom k vykonanej podkladovej analýze pre CBA považujem za najideálnejšie riešenie komunikačnej infraštruktúry, pre definované prostredie zahrňujúce územie krajín Českej republiky, Slovenska a Maďarska, v rozmedzí hladín 375 až 450 použiť rádiostanice využívajúce koncept Climax s kanálovou separáciou 25 kHz. Navrhujem tak hlavne z dôvodu dostatočného pokrytia celého územia pri použití štyroch legov, ako to vyplýva z teoretickej analýzy, ale v prípade potreby je možné použiť až 5 legov, a nízkych nákladov, keďže potrebná infraštruktúra je už v podstate vybudovaná aj pre dnešný konvenčný systém riadenia vzdušného priestoru, a pretože sa 25 kHz kanálová separácia ešte stále bežne používa na našom definovanom území, aj keď implementácia 8,33 kHz odstupe je v pokročilom štádiu.

Mojou druhou voľbou by bol Nemecký model riešenia komunikácie hlavne kvôli výhode, že je možné použiť ľubovoľný počet vysielacích stredísk, čím by bolo teoreticky možné pokryť akékoľvek územie. Na druhom mieste, je ale z dôvodu nutnosti implementácie nových, v súčasnosti nepoužívaných funkcionalít, do komunikačného systému v zmysle implementácie prehľadovej informácie k riadeniu vysielania v priestore a celkovej zložitosti systému hlavne v zmysle využívania umelej inteligencie na zisťovanie, s ktorým lietadlom chce ATCO vlastne nadviazať spojenie.

Až v treťom rade, by som sa rozhodol pre možnosť implementovania systému LDACS. Ak by sme totiž mali systém LDACS už plne k dispozícii, bol by určite najpreferovanejším riešením. Keďže ale v súčasnosti stále nie je štandardizovaný a aj po jeho schválení, ktoré má na starosti ICAO, jeho implementácia na paluby lietadiel potrvá ešte mnoho rokov, nie je tento systém možné v súčasnosti považovať za plnohodnotného kandidáta pre riešenie problému komunikácie v sectorless prostredí.

Úplne poslednou možnosťou je pre mňa možnosť využitia Aircom Satellit Voice systému, a to z jedného prostého, no kritického problému, a to až 10 sekundovej doby spojenia. Ak by sa tento čas, dokázal v budúcnosti ešte zredukovať, určite by už aj satelitná komunikácia bola vážnejším kandidátom na vyriešenie nášho problému.

## Záver

Cieľom tejto bakalárskej práce mal byť návrh a analýza komunikačnej infraštruktúry pre potreby konceptu Sectorless ATM, ktorého hlavnou myšlienkou je zmena princípu riadenia vzdušného priestoru v Európe z konvenčného sektorového na nový bezsektorový systém. Podmienkou na návrh a analýzu komunikačnej infraštruktúry bolo vyhotoviť cost – benefit analýzu možných navrhovaných riešení spôsobu komunikácie v prostredí konceptu Sectorless ATM.

V prvej kapitole práce sme sa zamerali na definovanie vhodného prostredia a podoby, v ktorej by koncept mohol byť implementovaný k čomu nám pomohol hlavne popis samotného sectorless konceptu a jeho porovnanie s konvenčným systémom riadenia vzdušného priestoru. Na začiatku kapitoly sú vymenované najväčšie rozdiely medzi týmito dvoma prístupmi k riadeniu leteckej dopravy v Európe, medzi ktoré patrí zrušenie sektorov, ako to vyplýva už z názvu konceptu, a potom rozdielne pracovné prostredie pre riadiacich letovej prevádzky. Ďalej kapitola pokračuje popisom benefitov a nevýhod S-ATM konceptu. Medzi benefity a zároveň 2 hlavné dôvody implementácie nového systému zaradujeme v prvom rade zníženie pracovnej záťaže riadiacich a navýšenie kapacity vzdušného priestoru nad územím Európy. V závere sú ešte spomenuté už vykonané simulácie, ktoré prebehli na území štyroch európskych krajín, a ktorých popis nám taktiež dopomohol k definovaniu vhodného prostredia a podoby konceptu.

V ďalšej kapitole práca pokračuje stručným prehľadom hlasovej a dátovej komunikácie v leteckej doprave, jej históriou a rozdelením. Kapitola je dôležitá hlavne z dôvodu pochopenia technického zázemia leteckej komunikácie a prípadného využitia podobných technických riešení aj v sectorless koncepte.

V tretej kapitole sú rozobrané logické a technické aspekty, ktoré ovplyvňujú riešenie komunikácie v sectorless prostredí a jeho implementáciu. Medzi logické aspekty, ktoré sú v tejto kapitole ďalej rozpísané patria strata tzv. situational awareness, riešenie možných konfliktov a tvorba safety net. Podkapitola Technické aspekty potom opisuje konkrétne možné riešenia komunikačnej infraštruktúry v sectorless prostredí, ktorými konkrétne sú – Nemecký model riešenia komunikácie, Climax s 25 kHz alebo 8,33 kHz kanálovou separáciou, Aircom Satellite Voice a LDACS.

V poslednej časti práce sme sa zamerali na podkladovú analýzu CBA, možných riešení komunikácie na definovanom území, ktoré zahŕňa časť územia FAB CE. Vo výsledku sme toho názoru, že najvhodnejšou spôsobom komunikácie pre sectorless koncept na definovanom území je použitie Climaxu s 25 kHz kanálovou separáciou, ak by sa uvažovalo o implementácii konceptu sectorless v krátkodobom až strednodobom horizonte.

Hlavnou limitáciou analýzy bola nedostupnosť konkrétnych údajov o súčasnej komunikačnej infraštruktúre v susedných štátoch, chýbajúce informácie o presných nákladoch na budovanie a aplikovanie navrhovaných riešení a taktiež kvôli nedostatočnej literatúre týkajúcej sa problému komunikácie v prostredí sectorless.

V neposlednom rade by sme chceli podotknúť, že výsledky tejto práce nepredstavujú závery, ktoré by mali alebo nemali viesť k akceptovaniu a implementácii nami navrhovaného riešenia komunikácie v prostredí sectorless. Primárne sme chceli poukázať na možnosti, ktoré sú v tejto problematike k dispozícii.



## Použité zdroje

- [1] VOLF, Přemysl. 2019. Comparison of the flight centric and conventional air traffic control [online]. Integrated Communications Navigation and Surveillance (ICNS) Conference, 2019. [cit. 03.05.2020]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/334167682\\_Comparison\\_of\\_the\\_Flight\\_Centric\\_and\\_Conventional\\_Air\\_Traffic\\_Control](https://www.researchgate.net/publication/334167682_Comparison_of_the_Flight_Centric_and_Conventional_Air_Traffic_Control)
- [2] BIRKMEIER, Bettina, KORN Bernd. 2014. Five transition strategies for sectorless ATM [online]. 33rd Digital Avionics Systems Conference, 2014. [cit. 03.05.2020]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6979410>
- [3] DUONG, Vu, GAWINOWSKI, Gilles, NICOLAON, Jean – Pierre, SMITH, Darren. 2001. Sector – Less Air Traffic Management [online]. 4th USA/Europe Air traffic Management R&D Seminar, 2001. [cit. 03.05.2020]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/267260920\\_Sector-Less\\_Air\\_Traffic\\_Management](https://www.researchgate.net/publication/267260920_Sector-Less_Air_Traffic_Management)
- [4] BIRKMEIER, Bettina, EDINGER, Christiane, KORN Bernd, KÜGLER, Dirk, TITTEL, Sebastian. 2011. First results on flight rules and conflict avoidance maneuvers for a sectorless ATM concept [online]. Integrated Communications Navigation and Surveillance (ICNS) Conference, 2011. [cit. 05.05.2020]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5935333>
- [5] HAUF, Klauspeter. 2018. Wide – area communication for Sectorless Air Traffic Management [S-ATM]. ICAO EANPG Frequency Management Group (FMG), 2018.
- [6] GRAEUPL, Thomas, MAEURER, Nils, SCHMITT, Corinna. L-band Digital Aeronautical Communications System (LDACS) [online]. IETF Tools, 2020 [cit. 14.07.2020]. Dostupné z: <https://tools.ietf.org/id/draft-maeurer-raw-ldacs-01.html>
- [7] Aviation communication [online]. Wikimedia Foundation, Inc., 2015 [cit. 03.07.2020]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Aviation\\_communication](https://en.wikipedia.org/wiki/Aviation_communication)
- [8] FRAJT, Marek. Monitorovanie a počúvanie leteckých frekvencií [online]. Airlines.sk, o.z., 2017 [cit. 03.07.2020]. Dostupné z: <https://www.airliners.sk/monitorovanie-pocuvanie-leteckych-frekvencii/>
- [9] BEN MAHMOUD SLIM Mohamed, GUERBER, Christophe, LARRIEU, Nicolas, PIROVANO, Alain, RADZIK, José, 2014. Aeronautical AirGround Data Link Communications [online]. Somerset, UNITED STATES: John Wiley & Sons,

Incorporated [cit. 03.07.2020]. Dostupné z:

<https://ebookcentral.proquest.com/lib/cvut/detail.action?docID=1882161>

- [10] GURTOV, Andrei, POLISHCHUK, Tatiana, WERNBERG, Max. Controller – Pilot Data Link Communication Security [online]. Sensors, 2018 [cit. 03.07.2020]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1424-8220/18/5/1636/htm>
- [11] Controller Pilot Data Link Communications (CPDLC) [online]. SKYbrary, nedatováno [cit. 03.07.2020]. Dostupné z: [https://www.skybrary.aero/index.php/Controller\\_Pilot\\_Data\\_Link\\_Communications\\_\(CPDLC\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Controller_Pilot_Data_Link_Communications_(CPDLC))
- [12] BEŇO, Luděk, NOVÁK, Andrej. Moderné informačné a komunikačné technológie v leteckých aplikáciách [online]. ATP Journal, 2003 [cit. 03.07.2020]. Dostupné z: [https://www.atpjournal.sk/buxus/docs/atp-2003-09-76\\_78.pdf](https://www.atpjournal.sk/buxus/docs/atp-2003-09-76_78.pdf)
- [13] BIELLA, Marcus, BIRKMEIER, Bettina. 2012. Safety net for a sectorless air traffic management concept [online]. 31st Digital Avionics Systems Conference, 2012. [cit. 13.07.2020]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6382340>
- [14] 8.33kHz Voice Channel Spacing communications [online]. EUROCONTROL, 2017 [cit. 22.07.2020]. Dostupné z: <https://833radio.com/news/show/7>
- [15] Facial recognition: top 7 trends (tech, vendors, markets, use cases and latest news) [online]. Thales Group, 2020 [cit. 22.07.2020]. Dostupné z: <https://www.thalesgroup.com/en/markets/digital-identity-and-security/government/biometrics/facial-recognition>
- [16] Diktovanie hlasom [online]. Stopka n.o., nedatováno [cit. 22.07.2020]. Dostupné z: <http://corvuskit.com/sk/videotutorial/diktovanie-hlasom>
- [17] Main features and capabilities [online]. DLR, nedatováno [cit. 23.07.2020]. Dostupné z: <https://www.ldacs.com/about-ldacs1/main-features-and-capabilities/>
- [18] Technical overview [online]. DLR, nedatováno [cit. 23.07.2020]. Dostupné z: <https://www.ldacs.com/about-ldacs1/technical-overview/>
- [19] PROCHÁZKA, Juraj. Sieť Iridium Next je spustená. Spojí lietadlá, aj lode [online]. TECHBOX s.r.o., 2019 [cit. 31.07.2020]. Dostupné z: <https://techbox.dennikn.sk/siet-iridium-next-je-spustena-spojilietadla-aj-lode/>

- [20] Iridium Certus [online]. Iridium Communications Inc., nedatováno [cit. 31.07.2020]. Dostupné z: <https://www.iridium.com/services/iridium-certus/>
- [21] Satellite Voice Guidance Material (SVGM) [online]. International Civil Aviation Organization, 2012 [cit. 03.08.2020]. Dostupné z: [https://www.icao.int/APAC/Documents/edocs/cns/SATVOICE\\_SVGM\\_v1.pdf](https://www.icao.int/APAC/Documents/edocs/cns/SATVOICE_SVGM_v1.pdf)
- [22] Aircom Satellite Voice. SITA, nedatováno [cit. 03.08.2020].
- [23] Inmarsat [online]. Roadpost, Inc, nedatováno [cit. 03.08.2020]. Dostupné z: <https://www.roadpost.com/inmarsat-satellite-network>
- [24] Projekt FAB CE [online]. ŘLP ČR, s.p., nedatováno [cit. 04.08.2020]. Dostupné z: <http://www.rlp.cz/spolecnost/profil/Stranky/projektFABCE.aspx>
- [25] Welcome to FAB Central Europe [online]. FAB CE, nedatováno [cit. 04.08.2020]. Dostupné z: <https://www.fab-ce.eu/>
- [26] Satelitná komunikácia [online]. Centrum vedecko – technických informácií SR, nedatováno [cit. 05.08.2020]. Dostupné z: <https://vedanadosah.cvtisr.sk/img/uploads/xzqhzl7P.pdf>
- [27] MÄURER, Nils, SCHMITT, Corinna. 2019. Towards Successful Realization of the LDACS Cybersecurity Architecture: An Updated Datalink Security Threat – and Risk Analysis [online]. Integrated Communications Navigation and Surveillance (ICNS) Conference, 2019. [cit. 07.08.2020]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8735139>
- [28] EDINGER, Christiane, KORN, Bernd, MOHRHARD, Bernd, PÜTZ, Thomas, TITTEL, Sebastian. 2010. Sectorless ATM – Analysis and Simulation Results [online]. 27th International Congress of the Aeronautical Sciences, 2010. [cit. 09.08.2020]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/225020652\\_SECTORLESS\\_ATM\\_-\\_ANALYSIS\\_AND\\_SIMULATION\\_RESULTS](https://www.researchgate.net/publication/225020652_SECTORLESS_ATM_-_ANALYSIS_AND_SIMULATION_RESULTS)
- [29] Improving ATM efficiency through artificial intelligence [online]. SESARJU, nedatováno [cit. 09.08.2020]. Dostupné z: <https://www.sesarju.eu/projects/malorca>
- [30] Civil air traffic control [online]. Skyguide S.A., nedatováno, [cit. 10.08.2020]. Dostupné z: <https://www.skyguide.ch/en/services/civil-air-traffic-control/>

## Zoznam obrázkov

- Obrázok 1.** Rozdelenie vzdušného priestoru z pohľadu konvenčného a sectorless konceptu
- Obrázok 2.** Jeden z návrhov usporiadania displeja na pozícii ATCO (R - displej radaru, C - displej konfliktov, S - situačný displej)
- Obrázok 3.** Konfliktný displej
- Obrázok 4.** Princíp komunikačnej infraštruktúry modelovanej v Nemecku
- Obrázok 5.** Porovnanie jednofázového a dvojfázového vytáčania
- Obrázok 6.** Pokrytie Zeme troma aktívnymi satelitmi od spoločnosti Inmarsat
- Obrázok 7.** Rozdelenie vzdušného priestoru do buniek pre potreby systému LDACS
- Obrázok 8.** Vypĺňanie medzier medzi susednými kanálmi systému DME
- Obrázok 9.** Sieť systému LDACS
- Obrázok 10.** Letecký tok prechádzajúci cez FAB CE
- Obrázok 11.** Letecké toky prechádzajúce definovaným územím
- Obrázok 12.** FAB CE

## Zoznam tabuliek

- Tabuľka 1.** Pravidlá a manévry pre riešenie konfliktných situácií
- Tabuľka 2.** Posunutie vysielačích kmitočtov pri použití systému Climax
- Tabuľka 3.** Príklady párovania kanálov a frekvencií pre kanálovú separáciu 25 kHz a 8,33 kHz