



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

LETECKÝ ÚSTAV

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

VÝVOJ LETECKÝCH NAVIGAČNÍCH SLUŽEB PRO KONCEPT JEDNOTNÉHO EVROPSKÉHO NEBE

EVOLUTION OF THE AIR NAVIGATION SERVICES IN THE EUROPEAN OPEN SKY CONCEPT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Daniel Sahrai

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Slavomír Vosecký, CSc.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Letecký ústav
Student: **Daniel Sahrai**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Profesionální pilot
Vedoucí práce: **doc. Ing. Slavomír Vosecký, CSc.**
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Vývoj leteckých navigačních služeb pro koncept jednotného evropského nebe

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vytvořit přehled dosavadního vývoje letových navigačních služeb.

Charakterizovat obsah konceptu jednotného evropského nebe.

Popsat moderní navigační metody a zdůraznit jejich přínosy.

Obsahem bakalářské práce usnadnit výuku a výcvik, směřující k pochopení popisované tematiky.

Cíle bakalářské práce:

Vytvořit studijní materiál pro BS oboru Profesionální pilot, akreditovaný na VUT v Brně, FSI, Leteckém ústavu.

Seznam doporučené literatury:

Letecký zákon, části L2 a L11

VOSECKÝ, S.: Radionavigace - učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL-1(062 00), akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno 2006.

Doporučení ICAO.

Požadavky EASA.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt:

Tato bakalářská práce se zabývá technologiemi a metodami poskytovanými leteckými navigačními službami. Cílem práce bylo vytvořit průřez historií vývoje takových technologií a metod a představit nové a vyvíjené technologie a metody koncipované pro evropský vzdušný prostor. Výsledkem je přehled sloužící jako studijní materiál pro pochopení problémů týkajících se nedostatečné kapacity vzdušného prostoru a k pochopení směrů, kterými se EUROCONTROL ubírá.

Abstract:

This bachelor thesis deals with technologies and methods provided by air navigation services. This work aimed to create a cross-section of the history of the development of such technologies and methods and to present new and developed technologies and methods designed for European airspace. The result is an overview that serves as study material for understanding the problems of insufficient airspace capacity and for understanding the directions taken by the EUROCONTROL.

Klíčová slova:

EUROCONTROL, SESAR, Jednotné evropské nebe, NAVAIID, PBN, 4D trajektorie, TBO, ANS, CNS, GNSS, EGNOS, Galileo, letecký provoz, letectví

Keywords:

EUROCONTROL, SESAR, Single European Sky, NAVAIID, PBN, 4D trajectory, TBO, ANS, CNS, GNSS, EGNOS, Galileo, air traffic, aviation

Bibliografická citace:

SAHRAI, Daniel. *Vývoj leteckých navigačních služeb pro koncept jednotného evropského nebe* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/125467>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. Vedoucí práce doc. Ing. Slavomír Vosecký, CSc.

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s tématem „Vývoj leteckých navigačních služeb pro koncept Jednotného evropského nebe“ vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce a řádně jsem citoval veškeré použité prameny v seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne 25. 06. 2020

.....

Daniel Sahrai

Poděkování:

Mé poděkování in memoriam patří panu Stanislavovi Karskému za veškeré rady, názory a zodpovězené otázky. Dále děkuji všem členům Aeroklubu Kyjov, přátelům a rodině za podporu při zpracovávání této práce a během bakalářského studia. Zvláště děkuji svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Slavomíru Voseckému, CSc. za odborné vedení, trpělivost a shovívavost během celého studia.

Obsah

Úvod.....	11
1 Letecké navigační služby	13
1.1 Řízení letového provozu	13
1.2 Komunikace, navigace a dohled	14
1.3 Meteorologické služby pro leteckou navigaci.....	14
1.4 Pátrání a záchrana	14
1.5 Správa leteckých informací.....	14
2 Vývoj leteckých navigačních prostředků	15
2.1 Navigace na trati	15
2.2 Systémy přístrojového přiblížení	17
2.2.1 Nepřesná přiblížení (NPA)	18
2.2.2 Přiblížení s vertikálním vedením (APV)	19
2.2.3 Přesná přiblížení (PA).....	19
3 Jednotné evropské nebe	22
3.1 Iniciace	22
3.2 Progres.....	23
3.3 Ambice	25
4 Vize CNS infrastruktury v rámci SES.....	26
4.1 Komunikace	26
4.1.1 AeroMACS	27
4.1.2 SATCOM.....	27
4.1.3 LDACS	28
4.1.4 NewPENS	28
4.2 Navigace.....	29
4.2.1 EGNOS	29
4.2.2 GBAS.....	31
4.2.3 Galileo.....	31
4.3 Dohled.....	34
4.3.1 ADS	34
4.3.2 WAM	35
5 Moderní navigační metody.....	36
5.1 RNAV	36
5.2 RNP.....	36

5.3	PBN.....	37
5.4	4D trajektorie	38
	Závěr	42
	Seznam použité literatury	44
	Seznam použitých zkratek	48
	Seznam obrázků.....	54
	Seznam tabulek	55
	Seznam příloh	56

Úvod

Letecká obchodní doprava poskytuje své služby už více jak 100 let. Za tuto dobu si prošla světlými i tmavými časy, které ji dovedly do dnešního podoby. V současné době se z krásy a luxusu letecké dopravy stal ekvivalent autobusové dopravy a o odletu letadla je v široké veřejnosti počítáno se stoprocentní jistotou. Nebylo tomu však vždy tak. Rostoucí tempo lidského pokroku, hnané neutuchající touhou mít všechno a hned, před nás nyní staví nové problémy, jimž je třeba čelit. Naším úkolem se stává uspokojení lidské touhy za současného zachování seriózity a pověsti nejbezpečnějšího a nejrychlejšího způsobu dopravy.

Vznikem leteckých navigačních služeb se do tohoto oboru dostal nezbytný pořádek, díky kterému mohou být požadované úkony plněny bezpečně a efektivně. Technologie vyvíjeny během 20. století dokázaly tyto služby po určitou dobu splňovat, ale již nedokážou držet tempo s dnešní dynamickou dobou. Klíčem k úspěchu je, aby letecké navigační služby splňovaly požadavky, jež jsou aktuálně vyžadovány a současně musí být bráno v úvahu jejich udržení v dlouhodobém horizontu. V této chvíli je nejvíce voláno po navýšení kapacity vzdušného prostoru. Víme, že vzdušný prostor má své limity, proto musíme razantně zakročit vůči jeho neefektivnímu využívání, které prodlužuje celkovou dobu letu, čímž se zvyšují náklady na provoz letecké techniky, posádky a roste tím i celková spotřeba paliva. Na evropském poli je proto navrženo řešení v podobě projektu Jednotné evropské nebe SES (Single European Sky), které za tímto účelem hodlá vytvořit službu řízení letového provozu ATM (Air Traffic Management) odpovídající 21. století. Aby taková služba mohla operovat tak, jak je zamýšleno, je nezbytné snížit fragmentaci vzdušného prostoru a zvýšit navigační výkonnost jednotlivých letadel, včetně jejich posádek. Toho je dosahováno modernizací a rozšiřováním funkcí palubní avioniky spolu s jednotlivými prvky CNS (Communication, Navigation and Surveillance) infrastruktury ve všech sektorech, včetně zavedení jejich vzájemné integrace. Nicméně z ekonomického hlediska je cílem poskytnout služby CNS prostřednictvím systémů, které jsou již nyní instalovány na palubách letadel. Ve svém důsledku by tyto kroky měly vést k vytvoření navigační metody, jejíž schopnosti budou charakterizovány přesností, integritou, kontinuitou a funkčností k zajištění efektivního využívání vzdušného prostoru. Systémy takového komplexu budou současně schopné organizovat a předpovídat letecký provoz ve čtyřech dimenzích (délka, šířka, výška a čas) tak, jak ještě nikdy dříve. Finální implementace SES podle nynějších předpokladů zvýší kapacitu a propustnost vzdušného prostoru za současného zvýšení bezpečnosti, snížení ročních nákladů na ATM služby a snížení dopadu letecké dopravy na životní prostředí.

V současné době se nacházíme na rozhraní mezi dvěma světy. Tím starým, který nás doprovázel po mnoho let a na který jsme do jisté míry zvykli, a novým, který musí držet tempo rozvíjející se doby. Vyznat se v takové situaci není pro nikoho jednoduché. Posádky letadel jsou tlačeny k přizpůsobení se novým postupům, metodám a technologiím v relativně krátkém čase, což neprospívá jejich připravenosti k řešení možných problémů spojených s výkonem jejich práce. Stejný problém vzniká i u provozovatelů letišť, řídicích letového provozu a jednotlivých aerolinií, které se těmto novým skutečnostem musí taktéž přizpůsobit. Cílem této práce je představit počátky vedení letadel po trati a na přiblížení, současně využívané metody a technologie a směr

předpokládaného vývoje navigačních technologií a metod. Získané znalosti tak mohou být využity k pochopení záměrů projektu SES a k dalšímu zkoumání navazujících řešení.

1 Letecké navigační služby

Letecké navigační služby ANS (Air Navigation Services) byly a jsou poskytovány leteckému provozu po celou dobu provozu Poskytovatelem leteckých navigačních služeb ASNP (Air Navigation Service Provider). Jedná se o veřejný nebo soukromý právní subjekt, který řídí letecký provoz nad danou oblastí a zajišťuje uživatelům vzdušného prostoru jednu nebo více z těchto služeb [5]:

- Řízení letového provozu (ATM),
- Komunikace, navigace a dohled (CNS),
- Meteorologické služby pro leteckou navigaci (MET),
- Pátrání a záchrana (SAR),
- Letecké informační služby/ Správa leteckých informací (AIS/AIM).

Účelem vytvoření těchto služeb bylo zajištění **plynulosti** a hlavně **bezpečnosti** leteckého provozu. Velmi známým příkladem nedostatečné propracovanosti celého systému, při kterém přišlo o život více než 1 500 osob, je zkáza Titaniku. I když byla loď vybavena radiostanicí a operátoři získávali výstrahy o ledovcích, převážně sloužila veřejnosti k vysílání telegrafických zpráv. V nouzové situaci se neprokázala dobře z důvodů nedostatečného výcviku operátorů a interference nouzových zpráv s běžnými zprávami ostatních radiostanic [37].

1.1 Řízení letového provozu

Služba ATM (Air Traffic Management) zabezpečuje veškeré činnosti spojené se zajištěním bezpečného, efektivního a uspořádaného toku letového provozu. Tento pojem zahrnuje tři hlavní služby:

- **ATC** (Air Traffic Control) – hlavním účelem této služby je udržet dostatečnou vzdálenost mezi letadly, mezi letadlem a překážkami na zemi, aby se zabránilo kolizím. Nicméně tento bezpečnostní cíl nesmí bránit plynulosti provozu, a proto musí splňovat potřeby uživatelů.
- **ATFM** (Air Traffic Flown Management) – primárním cílem je přispívání k bezpečnosti, spořádanosti a rychlosti toku letového provozu, využitím maximální kapacity vzdušného prostoru [78].
- **ASM** (Airspace Management) – si klade za cíl řízení vzdušného prostoru co nejefektivněji, aby uspokojil civilní i vojenské uživatele. Tato služba se zabývá způsobem přidělováním vzdušného prostoru jeho uživatelům prostřednictvím letových tras, oblastí, letových hladin apod. a způsobem, jakým je vzdušný prostor strukturován za účelem poskytování služeb řízení letového provozu [6].

1.2 Komunikace, navigace a dohled

Technologie CNS hrají významnou roli v celém sektoru letectví. Tyto technologie se spoléhají na dostatečné spektrum frekvencí, se kterými plní funkci stěžejních pilířů v letecké dopravě.

- **Komunikace** – je již od počátků nezbytná součást ATM pro zajištění bezpečnosti letu a dorozumění se jak mezi pilotem a řídicím letového provozu (ATCO – Air Traffic Controller) (vzduch-země), tak mezi ATC středisky (země-země) či piloty navzájem (vzduch-vzduch).
- **Navigace** – jde o proces plánování, monitorování a řízení pohybů letadla, v postranní, vertikální a podélné ose v daném čase, zahrnující sofistikované technologie a efektivní koordinaci mezi pilotem a ATC. Poskytovaná služba musí být adekvátně spolehlivá, dostupná, přesná, integrovaná a funkční.
- **Dohled** – poskytování informací o tom „kdo“ je „kde“ a „kdy“ [13].

1.3 Meteorologické služby pro leteckou navigaci

Meteorologické služby přispívají k bezpečnosti, pravidelnosti a hospodárnosti leteckého provozu. Jejich podpora spočívá v pozorování a předpovídání povětrnostních podmínek a následném předání potřebných meteorologických informací všem poskytovatelům leteckých služeb a uživatelům vzdušného prostoru [80].

1.4 Pátrání a záchrana

Službou pátrání a záchrana rozumíme: „Výkon činností souvisejících se sledováním tísňe, komunikací a koordinací a s prováděním pátrání a záchrany, jenž vede k poskytnutí neodkladné přednemocniční péče nebo zdravotnickému převozu při použití veřejných nebo soukromých prostředků, včetně spolupracujících letadel, lodí a dalších zařízení“ [79].

1.5 Správa leteckých informací

Na základě přechodu z AIS (Aeronautical Information Service) na AIM (Aeronautical Information Management) zahrnuje sekce AIM Středisko letecké informační služby a oddělení systémů a dat AIM. Oproti předchozím postupům, AIM klade důraz na interoperabilitu a efektivní výměnu a distribuci dat v rámci ATM systémům a uživatelů vzdušného prostoru [64].

2 Vývoj leteckých navigačních prostředků

Stejně jako bratři Wrightové v roce 1903, tak i Heinrich Hertz o 16 let dříve položil stavební kameny pro leteckou dopravu. Zatímco Wrightové dali svému nápadu křídla a benzínový motor, aby vznesli člověka do vzduchu, Hertzovy poznatky zajistily, aby se ve vzduchu neztratil a vždy se bezpečně vrátil zpět na zem.

Po konci 1. světové války, kdy došlo k prudkému rozvoji vojenského letectví, se zájem začal obracet také k civilnímu letectví. Nedostatečně vybavená letadla však byla odkázána na lety pouze ve dne a za vhodných povětrnostních podmínek. Na konci 20. let byla sestavena první letová trať, tvořená světelnými majáky, spojující východní a západní pobřeží USA (United States of America). Podmínkou však zůstávaly dobré povětrnostní podmínky. S rostoucím zájmem o leteckou dopravu se klíčovým faktorem stala právě pravidelnost za jakýchkoliv povětrnostních podmínek. O splnění takové potřeby se zasloužily konvenční radionavigační prostředky NAVAID (Navigation Aid).

2.1 Navigace na trati

Jedná se o proces plánování, zaznamenávání a kontrolování pohybu stroje nebo dopravního prostředku z jednoho místa do jiného. Slovo navigace vychází z latinského navigatus, minulého přičestí navigere, které je odvozeno od slova navis, znamenající „lod“ a agere znamenající „přesunout“ nebo „nasměřovat“ [61].

Very high frequency Direction Finder (VDF)

Letecká navigace vycházela do jisté míry z námořní navigace. Nicméně požadavky letecké navigace byly mnohem striktnější z důvodu vyšší rychlosti pohybu letadel, kde nebylo na zdoluhavé počítání parametrů dostatek času. Otázka správné a rychle provedené navigace rozhodovala o přežití posádky i pasažérů. Od první poloviny 20. století se tohoto úkolu zhostily prostředky zmíněné NAVAID. Prvním takovým zařízením byl zaměřovač VDF, který sloužil k poskytnutí kurzu od letadla k pozemní stanici (QDM) tzv. „homing“ a určení polohy křížovým zaměřením z více pozemních stanic. Tato informace však byla indikována pouze operátorovi pozemní stanice, který ji předal posádce pomocí hlasové rádiové komunikace. Poprvé byla metoda určení směru popsána v roce 1902 [73] a o dva roky později byla první sestava schopná takové činnosti [28]. Ze zjištěných znalostí vycházel Robertem Watson-Wattem, který v roce 1926 představil přijímač sloužící k lokalizaci bouřkových jader pro námořníky a letce. V průběhu 2. světové války potřeby námořnictva a zejména letectva směřovaly poněkud odlišným směrem, což vedlo k úpravě Wattsonova přijímače na první známý primární radar tzv. „Huff – duff“ neboli HF/DF (High-Frequency Direction Finding). V dnešní době slouží VDF jako záložní a pomocný prostředek s výhodami v nízkých nákladech a jednoduchosti.

Automatic Direction Finder (ADF) – Non Directional Beacon (NDB)

V počátcích 30. let 20. století došlo k široké instalaci dlouhovlnného rádiového vyhledávače směru RDF (Radion Direction Finder) na paluby letadel. Ty tvořily společně

s pozemním všesměrovým majákem NDB radionavigační dvojici, využívanou k navigaci po trati a k přiblížení na přistání. Mechanické RDF se však prokázaly jako neefektivní z důvodu jejich velikosti, údržby a pracovní zátěže na posádku. Řešení nabídl systém ADF, který umožňuje snazší a přesnější získávání informace o poloze letadla vůči stanici NDB, díky téměř okamžité indikaci na jednom z palubních indikátoru. Od této dvojice je však v dnešní době upouštěno a je postupně vyřazována z provozu. Výhody NDB přetrvávají v nízkých nákladech na provoz a instalaci, současně s velkým dosahem, ale chyba až $\pm 7^\circ$ a neindikace snosu větru volaly po dalším vývoji.

VHF Omni-directional Range (VOR)

Systém VOR (VHF (Very High Frequency) Omni-directional Range) slouží k poskytnutí informace o radiálu, na němž se letadlo vůči vysílači nachází. Vychází z předešle zmíněných radionavigačních zařízení, předně však ze zařízení LRF (LF/MF Four Course Radio Range), jež bylo hojně rozšířeno v druhé polovině 20. let 20. století [62]. Toto zařízení zajišťovalo vedení pouze po čtyřech kurzech směrem k/od pozemní stanice. Navíc dosahoval značných chyb při špatných meteorologických podmínkách, kdy byl jeho provoz nejvíce vyžadován. Řešení těchto nedostatků nabídlo zařízení VOR, což v roce 1948 vedlo komisi ICAO (International Civil Aviation Organization) k doporučení o jeho plošné implementaci. V červnu 1961 [10] byl spuštěn provoz systému VOR pracujícího na Dopplerově jevu tzv. DVOR (doppler), který oproti konvenčnímu CVOR (conventional) dosahoval přesnosti $\pm 1^\circ$ a byl méně náchylný k interferenci, zejména v hustě zastavěných oblastech.¹ Ačkoliv je navigace za podpory zařízení VOR přesnější a uživatelsky přívětivější než při využívání dvojice ADF-NDB, vyžaduje vysoké náklady, časté revize a potýká se s nedostatkem frekvencí v zahlcených oblastech. Postupně tak dochází k odstavení zařízení VOR a zanechání jen pro činnost v koncových oblastech, pro účely všeobecného letectví a pro spolupráci s GNSS (Global Navigation Satellite System) při konfrontaci správnosti výsledků v rámci AAIM (Aircraft Autonomous Integrity Monitoring).

Distance Measuring Equipment (DME)

Dálkoměrné zařízení DME (Distance Measuring Equipment) měří šikmé vzdálenosti od pozemního zařízení k letadlu. Princip funkce vychází z dotazovacího zařízení IFF (Identification Friend or Foe) využívaného ve 2. světové válce. DME bylo poprvé představeno v Ottawě na konci října 1946 australskou společností AWA Ltd. [50]. Ještě před plným spuštěním do provozu pracovalo toto zařízení ve frekvenčním pásmu VHF (cca 200 MHz) na celkem 26 kanálech. Později přešlo na UHF a zavedením pulsního multiplexu bylo možné obsluhovat celkem 100 letadel jedním pozemním odpovídačem ve stejném frekvenčním pásmu [9]. DME bylo původně konstruováno pouze pro traťovou navigaci, ale i tak ke konci roku 1965 vznikla kombinace s přistávacím systémem ILS (Instrument Landing System) [10]. V tehdejší době šlo ještě o klasické zařízení označované jako DME/N (narrow). Teprve v roce 1972 vzniklo zařízení DME/P (precision), které je s užšími paprsky mnohem přesnější pro použití při vedení na přistání. Kvůli relativně vysoké přesnosti

¹ Vypočtená celková přesnost systému CVOR je $\pm 4^\circ$ (pro pravděpodobnost 95 %) [77].

a spolehlivosti je se zařízením dále počítáno v podobě zálohy a konfrontace výsledků GNSS, podpory PBN (Performance Based Navigation) a systémů přístrojového přiblížení. DME se tak dostává optimalizace a částečného rozšíření.

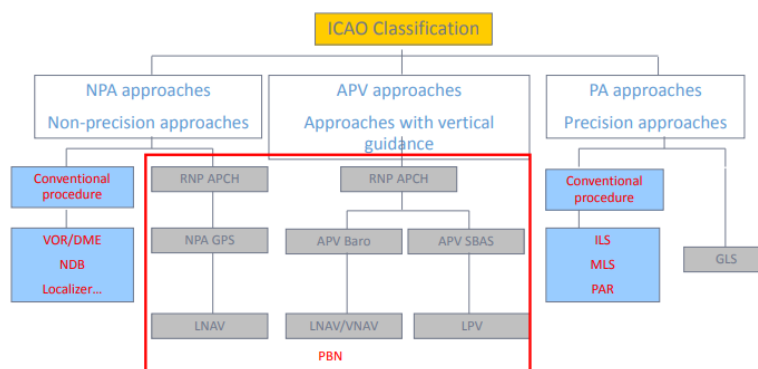
2.2 Systémy přístrojového přiblížení

Traťová navigační zařízení sloužila pilotům při letu z jednoho letiště na druhé, ovšem jejich služba nebyla dostatečně přesná a ani spolehlivá pro poskytnutí vedení během přiblížení. Pionýry byly z počátku mechanická zařízení, která poskytovala informace o výšce, poloze letadla v prostoru, směru a rychlosti. O první „blind let“ se postaral 24. září 1929 na letecké základně Mitchel Field v USA generál James Harold Doolittle [27]. Výcvikový letoun



Obrázek 1: Kokpit s panelem přístrojů letounu NY-2 Husky [27]

NY-2 Husky byl, kromě již běžně dostupných přístrojů, vybaven radiovými aparáty předávající informaci o poloze letadla vzhledem k prodloužené ose dráhy a poskytující hlasovou komunikaci a synchronizaci Kollmanova výškoměru s pozemními barometry [27, 85]. Nově vznikající metody, systémy a zařízení poskytující přístrojové přiblížení jsou řazeny do tří kategorií dle jejich výkonnosti:



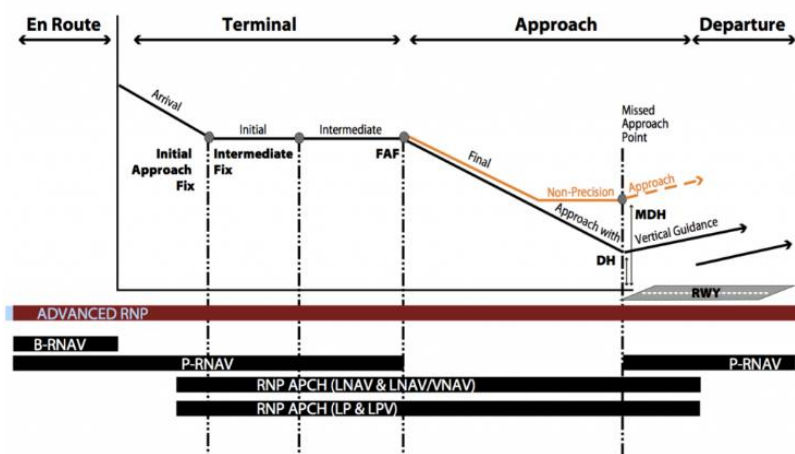
Obrázek 2: Klasifikace druhů přiblížení podle ICAO [84]

- **Nepřesná přiblížení NPA (Non-Precision Approach)** – nabízejí vedení po kurzu, ale neposkytují vertikální vedení.
- **Přiblížení s vertikálním vedením APV (Approach Procedure with Vertical guidance)** – využívají navigační systémy pro vedení po kurzu a sestupové rovině, ale s nižšími standardy pro přesnost.

- **Přesná přiblížení PA (Precision Approach)** – využívají navigační systémy pro vedení po kurzu a sestupové rovině.

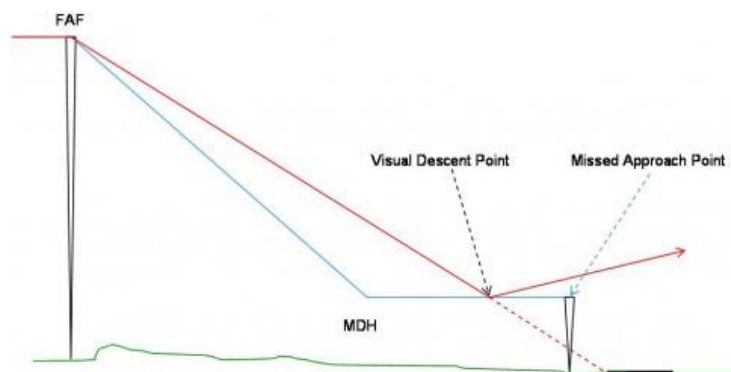
2.2.1 Nepřesná přiblížení (NPA)

Přiblížení NPA využívají pozemního a palubního vybavení, díky kterému **je poskytnuto vedení až k MDA/H (Minimum Descent Altitude/Height)**. Mezi tyto prostředky patří výše zmíněné konvenční zařízení jako NDB, VOR a kurzový maják LLZ (Localizer) systému ILS často v kombinaci s DME. K prvnímu přiblížení pomocí dvou majáků NDB došlo 9. května 1932 na letecké základně McCook Field, Ohio v USA kapitánem Albertem Francis Hegenbergem. Systémy poskytující NPA nejsou příliš automatizovány, tudíž vyžadují značné zkušenosti ze strany pilota. Z takových důvodů je velký počet nehod při řízeném letu do terénu CFIT (Controlled Flight Into Terrain) spojen právě s NPA. O zvýšení bezpečnosti se postarala technika kontinuální klesání konečného přiblížení **CDFA (Continuous Descent Final Approach)**. Ta vytváří postupy, při kterých není nutné dočasně vyrovnávat klesání. Technikou CDFA došlo ke stabilizaci NPA, snížení pracovní zátěže posádky a hlukového zatížení, zvýšení efektivního využití paliva apod. [14].



Obrázek 3: Navigační specifikace dle fáze letu [56]

Milníkem v oblasti NPA byl únor 1994, kdy došlo k certifikaci první jednotky GPS pro IFR provoz. Krok, kterým se FAA (Federal Aviation Administration) vydala, otevřel nové možnosti provozu pro veškeré fáze letu včetně přiblížení NPA, později i APV a PA.



Obrázek 4: Postup CDFA (červeně) [14]

Postupy NPA závislé na GNSS jsou označovány jako RNP APCH LNAV (Later Navigation) a RNP APCH LP (Localizer Performance). Při jejich provádění je předpokládáno klesání dle CDFA. Oba případy postupů konečné, přibližovací, případně odletové fáze letu spadají pod požadavky PBN do navigačních specifikací RNAV (Area Navigation) a RNP (Required Navigation Performance).

2.2.2 Přiblížení s vertikálním vedením (APV)

Přiblížení s vertikálním vedením APV je postup přiblížení podle přístrojů, jenž využívá stranové (LNAV) a vertikální (VNAV) vedení, ale nespĺňuje požadavky stanovené pro PA. VNAV je poskytováno buď za podpory certifikovaného barometrického výškoměru (RNP APCH LNAV/VNAV) nebo ve spolupráci GNSS a SBAS (Satellite-Based Augmentation System) (RNP APCH LPV (Localizer Performance with Vertical guidance)).

V obou případech je zajištěno vedení až **po výšku rozhodnutí DH/A** (Decision Height/Altitude), která může být v těchto případech **nejméně 200 ft** nad bodem dotyku na dráze. K jejich implementaci mezi postupy přístrojového přiblížení došlo při 36. zasedání Shromáždění ICAO v roce 2007. APV je výhradně aplikováno v prostorech s požadavky na provoz RNP APCH, který byl v Evropě představen pro LNAV a LNAV/VNAV minima v roce 2009 a pro minima LPV v roce 2011 [20]. V dnešní době jde o primární přiblížení některých letišť a záložní přiblížení pro letiště s postupy PA.

2.2.3 Přesná přiblížení (PA)

Přesná přiblížení jsou posledním ze tří vedení přístrojového přiblížení a přistání. Oproti předchozím postupům dosahují PA nejvyšší výkonnosti a přesnosti vedení ve stranové a vertikální rovině s minimy odvozenými z provozní kategorie (CAT) přístrojové dráhy daného letiště (viz tabulka 1). PA jsou rozdělena do třech typů podle zdroje informací o kurzovém a sestupovém vedením, které je poskytováno skrze:

- pozemní navigační zařízení (ILS, MLS),
- ATCO interpretující displej na radarové obrazovce (PAR – Precision Approach Radar),
- počítačově generovaná navigační data zobrazená pilotovi letadla (GLS – GBAS (Ground-Based Augmentation System) Landing System).

Kategorie ICAO	Výška rozhodnutí	Dráhová dohlednost nad
CAT I	nad 60 m (200 ft)	550 m
CAT II	nad 30 m (100 ft)	300 m
CAT III	A	pod 30 m nebo NIL
	B	pod 15 m (50 ft) nebo NIL
	C	NIL

Tabulka 1: ICAO kritéria pro kategorie přiblížení [77]

Instrument Landing System (ILS)

Nejstarším systémem PA vycházejícím z LRF (viz VOR) je systém ILS. Ten zpočátku poskytoval pouze elektronický obraz sestupové roviny na palubním indikátoru, přesto pojímal ty nejlepší vlastnosti přibližovacího osvětlení a rádiových majáků s vysokofrekvenčním přenosem tehdejší doby. Testy systému začaly již v roce 1929, ovšem k prvnímu použití ILS dopravním letounem (Boeing 247-D) v pravidelné letecké dopravě došlo až 26. ledna 1938 v Pittsburghu. V roce 1949 ICAO přijala ILS pro všechny členské státy, avšak „fully blind landing“ byl schopen zajistit až v 60. letech [52]. V rámci certifikace PBN **je navrženo postupné vyřazování ILS CAT I** po skončení jejich provozuschopnosti a nahrazení postupy APV.

Microwave Landing System (MLS)

Vznik systému MLS v 80. letech umožnil pilotům provést přiblížení k prahu dráhy po trajektorii, která jim nejvíce vyhovuje. Tím došlo ke snížení hlukového zatížení a poskytnutí vedení v terénu, ve kterém by systém ILS neuspěl. Jediné letiště v Evropě s úspěšně implementovaným systémem MLS bylo letiště Heathrow v Londýně. Nicméně certifikace GPS v roce 1994 vedla FAA **k zastavení jeho dalšího vývoje** a na scénu se tak dostaly nové postupy podporované systémy GNSS, které dosahovaly vyšší výkonosti s nižšími náklady, než tomu bylo u systému MLS.

Precision Approach Radar (PAR)

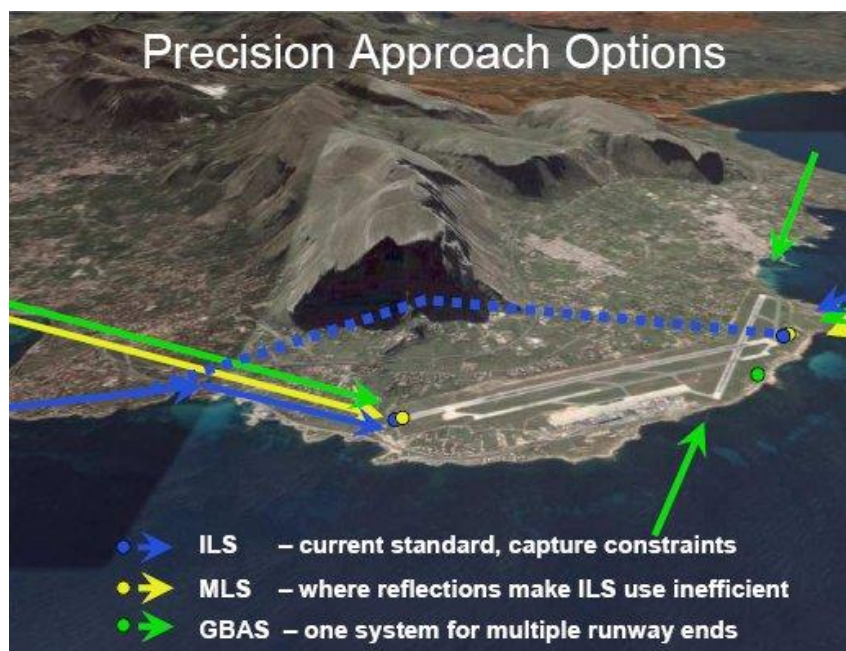
V roce 1943 byly PA doplněny o možnost využití přesných přibližovacích radarů PAR k vedení na přistání [60]. Jednalo se o druh primárních radarů krátkého dosahu (cca 20 NM), ale s větší přesností. PAR poskytují službu v rámci GCA (Ground-Controlled Approach). Příkazy pro udržení sestupové roviny jsou udělovány ATCO hlasovou komunikací. Pilot je tak schopen klesat bez jakékoliv vizuální indikace až po DH/A, která je 100 ft až 400 ft nad bodem dotyku dráhy. Z důvodu možné chyby způsobené lidským faktorem je služba GCA **spíše podpůrným a záložním prvkem**.

GBAS Landing System (GLS)

Nejnovějším systémem přesného přiblížení je oficiálně nazývaný Flight Procedure and Airspace GBAS Landing System (GLS). Jedná se o postup přístrojového přiblížení a samotného přistání spoléhající na GNSS, který využívá letištní pozemní stanice GBAS. Provoz GLS je založen na odlišném principu, než je tomu u ILS. Zatímco ILS vysílá dva svazky energií k určení pozice vůči ose dráhy, pozemní stanice GBAS vytváří korekční zprávy GNSS signálu a vzniklá data přeposílá vlnami VHF letadlům vybaveným GBAS přijímačem. GBAS tak může poskytnout až 48 různých přiblížení pro veškeré dráhy v rádiu 42 km od pozemní stanice.

GBAS definuje systém zajišťující GBAS korekce pozemním vysílačem, které poskytují polohové, navigační a PA služby. První systém GBAS byl schválen v roce 1997 na letišti Newark, New Jersey. V Evropě byl poprvé spuštěn provoz systému GBAS o rok později na letišti Fraport ve Frankfurtu nad Mohanem. V dnešní době je implementován na

více jak 100 letišťích po celém světě [34]. **Aktuálně je možná implementace postupů GLS CAT I** [77], CAT II/III jsou ve fázi R&D (Research and Development).



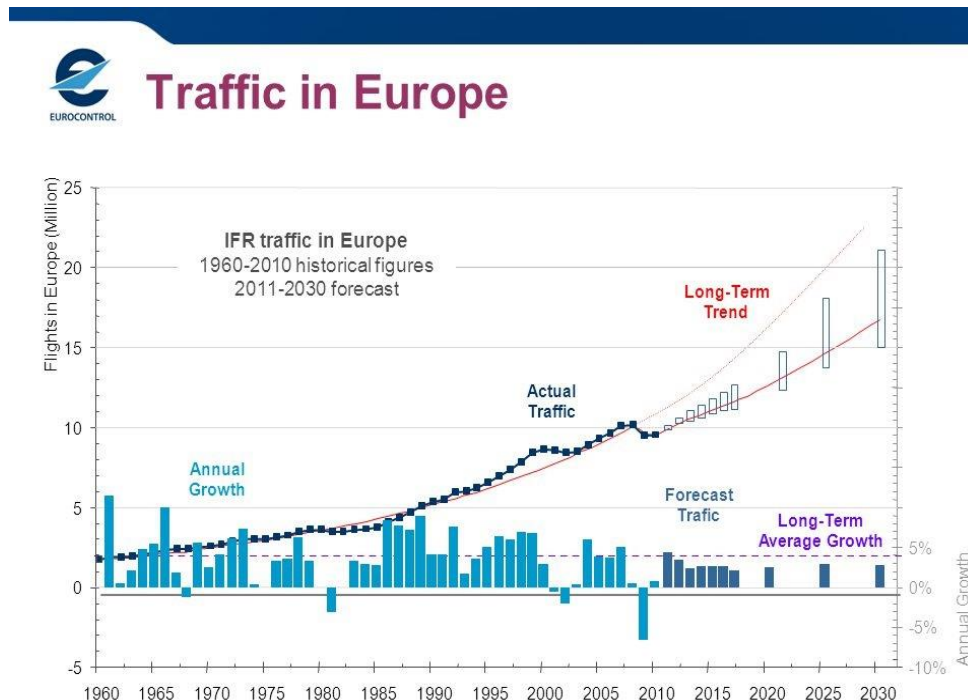
Obrázek 5: ILS, MLS a GBAS přiblížení pro více RWY jednoho letiště [81]

3 Jednotné evropské nebe

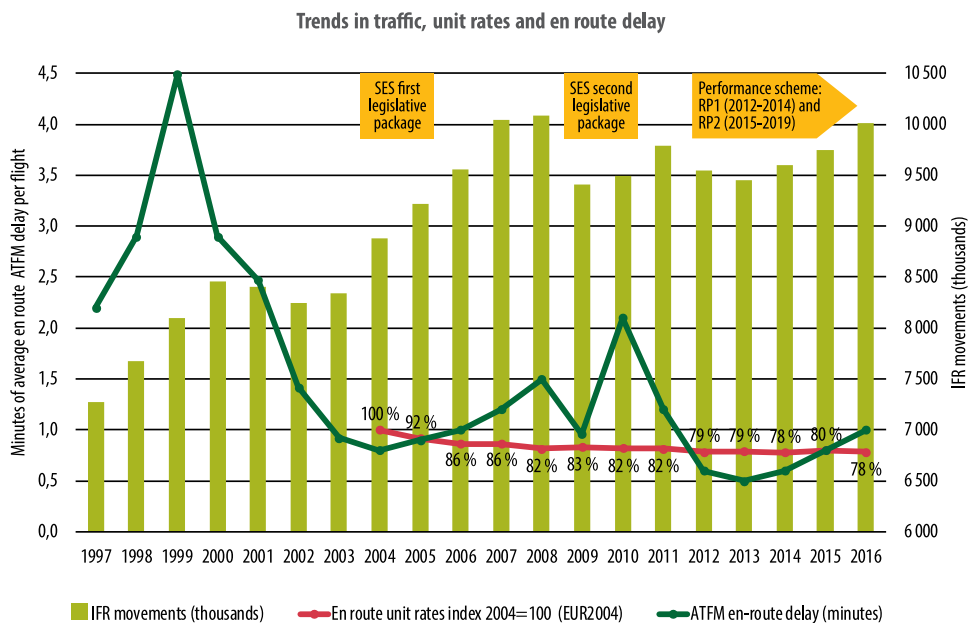
Implementace Jednotného evropského nebe SES (Single European Sky) se dotýká modernizace téměř veškerých oblastí letecké obchodní dopravy. Následující kapitola popisuje důvody vzniku SES a cíle, které byly vytýčeny k vytvoření moderního, bezpečného a efektivního ATM systému. Dále se věnuje krokům, které byly v minulosti podstoupeny k aplikaci takového systému. Nakonec jsou zde uvedeny ambice projektu a strategie k jejich dosažení.

3.1 Iniciace

Již od 60. let minulého století lze pozorovat počátek exponenciálního růstu počtu IFR letů v Evropě. Takový vývoj ve fragmentovaném a nedostatečně vyvinutém vzdušném prostoru vedl k razantnímu nárůstu průměrné doby zpoždění letů napříč celou Evropou. Důkazem je graf na obrázku 6, kde je zobrazeno náhlé zastavení ročního růstu počtu IFR letů v Evropě po roce 1999, a graf na obrázku 7, který zobrazuje vrchol průměrné doby zpoždění veškerých letů 4,5 minut v tom stejném roce. MUAC (Maastricht Upper Area Control Center) dokonce ve stejném roce registrovalo u 83 891 zpožděných letů průměrnou dobu zpoždění 19 minut [47]. Takové situaci už nešlo přehlížet bez razantního zásahu, proto v prosinci téhož roku byl spuštěn projekt Jednotného evropského nebe, anglicky Single European Sky (SES). Na konci roku 2001 byl koncipován první legislativní balíček SES I, který Evropský parlament a Rada Evropské unie schválila v březnu 2004.



Obrázek 6: Počet IFR letů v Evropě mezi roky 1960-2010 s předpokládaným růstem do roku 2030 [51]



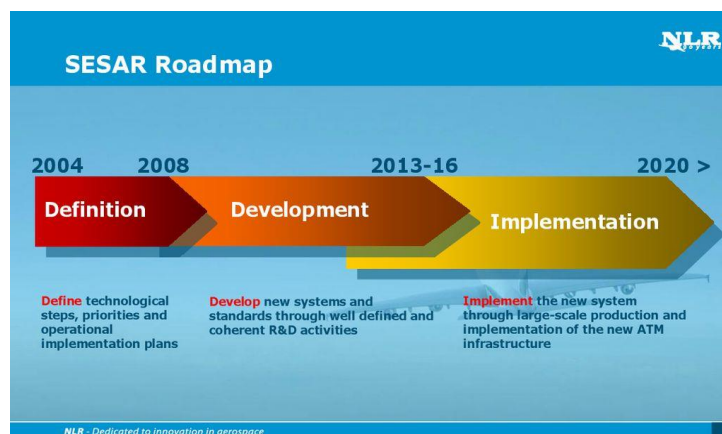
Obrázek 7: Počet ročních IFR letů v tisících s průměrnou dobou zpoždění v minutách pro každý let [71]

Legislativní balíček SES I byl tvořen čtyřmi právními předpisy [55]:

- *The Framework regulation (EC No 549/2004) – laying down the framework for the creation of the single European sky,*
- *The Service provision regulation (EC No 550/2004) – on the provision of air navigation services in the Single European sky,*
- *The Airspace regulation (EC No 551/2004) – on the organisation and use of airspace in the Single European sky,*
- *The Interoperability regulation (EC No 552/2004) – on the interoperability of the European Air Traffic Management network.*

3.2 Progres

„Projektem SES I byl stanoven pevný právní základ pro hladký a bezpečný systém uspořádání leteckého provozu s cílem zvýšit kapacitu a propustnost vzdušného prostoru při zachování vysoké míry bezpečnosti a maximální kvality poskytovaných služeb“ [25]. **Prosazení takové vize bylo nezbytné, nikoliv však dostačující.** V reakci některých členských států EU (Evropské unie) došlo k novelizaci původní legislativy SES I v podobě SES II (2009), která se místo kapacity zaměřovala na kompletní výkonnost a udržitelnost SES. V roce 2013 byl vytvořen dodatečný návrh SES II+ [70], ten si však nezískal mnoho pozitivních reakcí ze strany členských států a v současné době je stále v procesu schválení Evropským parlamentem a Radou Evropské unie.



Obrázek 8: Původní časový rozvrh definiční, vývojové a zaváděcí fáze SES [68]

Původní plán byl rozdělen do tří fází a to **definiční, vývojové a zaváděcí** (viz obrázek 8). V definiční fázi byl jedním z výsledků první **ATM Master Plan** [22] v podobě harmonogramu vývojové a zaváděcí fáze. V roce 2007 došlo k založení společného podniku **SESAR** (Single European Sky ATM Research), spadající pod EUROCONTROL, který byl pověřen řízením a dozorem nad R&D vývojové fáze do roku 2013. Ovšem toho cíle nebylo v požadované lhůtě dosaženo a podnik je v realizaci ATM Master Plan stále aktivní. Během své existence zveřejnil podnik SESAR celkem čtyři plány modernizace ATM systému. V původním z roku 2009 byly určeny výkonnostní cíle v podobě:

- 73% zvýšení kapacity,
- 10% snížení dopadu na životní prostředí na let,
- 50% snížení nákladů na let.

V aktualizacích 2012, 2015 a 2020 **došlo ke snížení těchto cílů a k oddálení konečného data implementace SES**. Vývojová fáze, která měla být dokončena v roce 2013, byla později prodloužena do roku 2016, přesto není stále dokončena ani v roce 2020. Představa o plném zavedení SES je dle poslední aktualizace ATM Master Plan 2020 očekávána nejdříve do roku 2035 [40].² Ve speciálním hlášení ECA (European Court of Auditors) 18/2017 tak panují obavy o efektivnosti tohoto projektu [71].

Jak vychází z původního plánu ATM, v letošním roce měla za podpory PCP (The Pilot Common Project) dosáhnout svého konce zaváděcí fáze. Skutečnost k 25. 6. 2019 byla taková, že pět let po přijetí nařízení PCP bylo v zaváděcí fázi z více jak 1100 přijatých nařízení 28 % dokončeno, 44 % probíhá a 17 % je plánováno [54]. Zbýlých necelých 11 % ještě nebylo naplánováno. SESAR ve svém věcném přehledu z roku 2016 upozorňuje na celkem 60 aplikovaných řešení, která nabídla výkonnostní zisky jako je snížení spotřeby paliva o 2,3 %, snížení nákladů na letecké navigační služby o 4 % a navýšení kapacity vzdušného prostoru o 34 % aj. [26]. Tyto úspěchy však nejsou takové, jaké byly očekávány při jeho vzniku. SESAR v tomto ohledu sice začal snižovat své nároky na výsledky

² V Návaznosti na SES vznikl nový projekt The Digital European Sky mající za cíl plnou automatizaci pozemního i vzdušného evropského prostoru do roku 2050 [23].

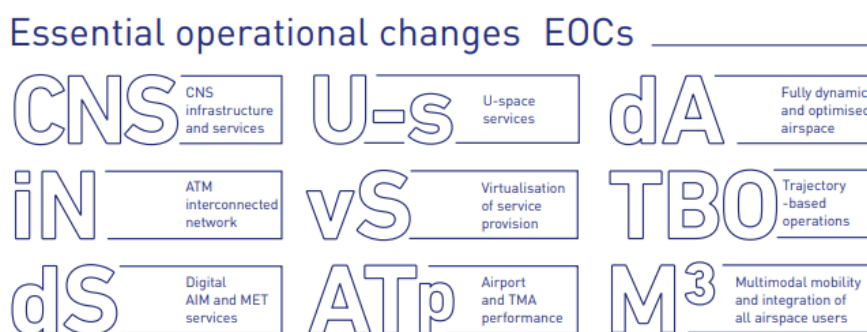
implementace SES, ale stále přichází s novými návrhy ambiciózních řešení, které prodlužují jeho časové lhůty.

3.3 Ambice

Směry, kterými se program SESAR R&D vydává, nevycházejí z určování vlastního směru vývoje evropského ATM systému oproti jiným, nýbrž převládající zájmy programu spočívají v **harmonizaci a globální interoperabilitě s dalšími programy** provádějící modernizaci ATM jako je např. NextGen.³ Proto byly pro definici SES v roce 2005 vytýčeny cíle, které musí projekt splňovat, aby ho bylo možné zasadit mezi světové ATM systémy odpovídající 21. století. Cíle, včetně šesti klíčových oblastí, jsou zobrazeny v příloze 1. Důležité činnosti podniku SESAR vedoucí k naplnění těchto cílů jsou identifikace, posuzování a validace technických a provozních návrhů.

V návaznosti k dosažení takové mety bylo v poslední verzi ATM Master Plan 2020 uvedeno celkem 9 pilířů (obrázek 9) tzv. „**Essential operational changes**“, které je z provozního hlediska nezbytné podrobit vývojové a zaváděcí fázi pro zavedení SES a vytvoření základů pro Digitální evropské nebe [23].

Essential operational changes (EOCs)



Obrázek 9: Základní provozní změny definované v ATM Master Plan 2020 [23]

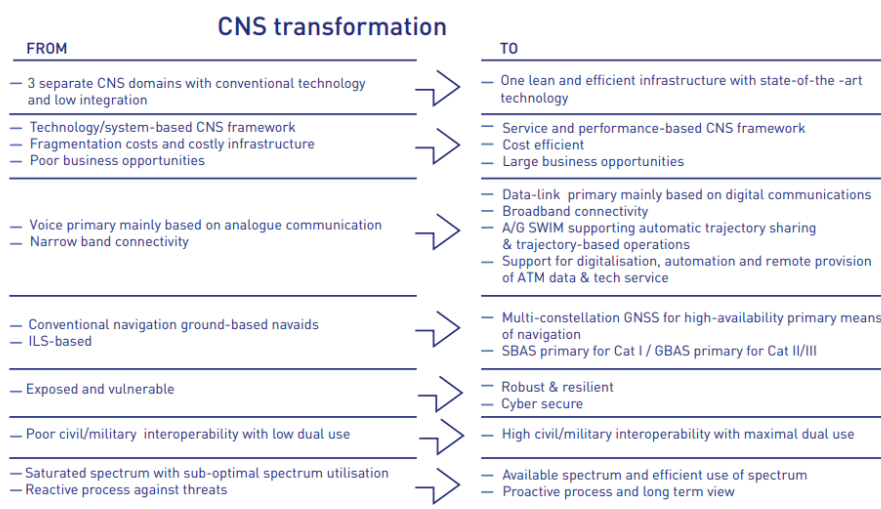
Tyto pilíře „Základních provozních změn“ si kladou za cíl **vybudování výkonného evropského ATM systému a dosažení konečné architektury evropského vzdušného prostoru**. I když některé z nich budují novou strukturu výkonného traťového systému, zatímco ostatní přinášejí podstatné změny pro jiné části ATM systému, jsou spojeny jejich společnými zájmy. Postupným vývojem a implementací jednotlivých změn je očekávána úzká souvztažnost a spolupráce mezi veškerými oblastmi [23].⁴

³ Next Generation Air Transportation System – program FAA spočívající v modernizaci NAS (United States National Airspace System).

⁴ Ukončení vývojové fáze je předpokládáno do konce roku 2020 [23].

4 Vize CNS infrastruktury v rámci SES

Síť CNS infrastruktury vytvořená během minulého století se potýkala s velkým množstvím omezení. Jednalo se o podstatnou fragmentaci do jednotlivých územních celků, separaci mezi civilními a vojenskými uživateli, omezené pole působnosti s omezenou kapacitou a jen nízkou spoluprací mezi jednotlivými systémy. Vize podniku SESAR tak požaduje provést optimalizaci celé CNS infrastruktury, co nejhospodárnějším způsobem tak, aby i v kontextu trvalého růstu hustoty leteckého provozu dosahovala vysoké výkonnosti s minimálními náklady. K tomu je přistupováno vyvíjením nových technologií, které mohou být využity již zabudovanou palubní avionikou. Návrh proměny CNS infrastruktury je zobrazen na obrázku 10.



Obrázek 10: Návrh proměny CNS podle ATM Master Plan 2020 [23]

Konečná infrastruktura CNS by měla podle předpokladů být založena na integrované CNS páteři, skládající se z multilinku **Pan-European Network Service**, **Global Navigation Satellite System** (GNSS) a **Automatic Dependent Surveillance – Broadcast** (ADS-B). Páteř bude doplněna o **Minimum Operational Network** (MON), která bude tvořena stávajícími konvenčními zařízeními jako je DME a ILS. Ty budou sloužit jako sekundární systémy pro korekci dat a jako záložní systémy pro případ nečekané události systému GNSS mající dopad na jeho výkonnost.

4.1 Komunikace

Efektivní a stabilní komunikační kanály jsou vazby, které zajišťují, že letectví funguje efektivně, předvídatelně a bezpečně. Zajišťují efektivní výměnu informací mezi ATCO navzájem a mezi ATCO a pilotem. Za účelem zvýšení kapacity a efektivnosti dochází k harmonizované **digitalizaci** výměny dat tak, aby implementace proběhla na lokální, regionální a globální úrovni co nejbezpečněji, za využití již existující infrastruktury a brala ohled na očekávaný vývoj systémů.

Již v roce 1999 došlo ve 30 státech regionu ICAO EUR (European Region) k implementaci kanálových rozestupů 8,33 kHz nad letovou hladinu 245, čímž došlo

k vměštění většího počtu frekvencí pro leteckou radiokomunikaci [2]. Revoluci komunikace v Evropě přinesla v roce 2003 forma využívající pro výměnu zpráv datového spoje neboli komunikaci datovým spojem tzv. **data-link**. Využitím této technologie vznikla nová metoda ATC komunikace mezi řídícím a pilotem nazývaná **CPDLC** (Controller-Pilot Datalink Communications), která spočívá ve vysílání textových zpráv [78]. Tím se snížilo vytížení frekvencí hlasovou komunikací. Komunikace CPDLC je podporována technologií VDL 2 (VHF Data Link Mode 2), což byl první data-link, který zajišťoval benefity a potřebnou kapacitu v krátkodobém horizontu [15]. Z dlouhodobého hlediska vývoje komunikace bude podle ATM Master Plan 2020 VDL 2 kompletován dalšími třemi data-linky [23].

4.1.1 AeroMACS

Z celkové doby provozu, tzv. „gate-to-gate“, představovaly nejčastější primární důvody zpoždění odletu v druhém čtvrtině roku 2019 jednotlivé aerolinky, ATFM na trati a ATFM letiště odletu [12]. Let byl mnohdy opožděn, aniž by vůbec vstoupil na dráhu za účelem vzletu. Technologií podporující výkonnost pozemního provozu letišť je AeroMACS (The Aeronautical Mobile Airport Communication System).

AeroMACS spadá do nové generace letištních data-linků, které napomáhají aerolinkám, letištním orgánům a ANSP zvládat narůstající objem výměny dat [4]. Využívá kmitočtové pásmo C (okolo 5 GHz) k vysokorychlostní komunikaci krátkého dosahu. Zaslouhou organizace EUROCONTROL byl mezinárodně standardizován a globálně harmonizován k provozu, čímž nabízí větší propustnost letištní pozemní komunikace, zlepšení situačního varování letišť, snížení celkových nákladů díky synergiím získaným sdílenou infrastrukturou, snížení zpoždění a zahlcení letišť, přípravu pro integraci s FCI (Future Communications Infrastructure) komponenty aj. [4].

4.1.2 SATCOM

Satellite Communication Datalink SATCOM označuje hlasovou nebo datovou komunikaci založenou na satelitní konstelaci, která tak doplňuje svou službu družicové navigace o další schopnost. SATCOM technicky umožňuje rozšířit CPDLC za hranice letiště a TMA a pokrýt tak i odlehlé a oceánské oblasti. Datové spojení SATCOM je nyní využíváno pouze pro malou část traťové komunikace ATM v kontrastu jeho možnostem mnohem rozsáhlejšího využití jako alternativy VHF a HF komunikace pro účely nesouvisející s ATC [66].

Jelikož se pravděpodobně jedná o jedinou možnost zajištění spolehlivého pokrytí datového spojení v oceánských a odlehlých oblastech na požadované kapacitní úrovni, je předpokládáno, že SATCOM bude tvořit mnohem větší část prvku ATC. Navíc může být vyžadován v rušných oblastech kvůli omezené kapacitě hlasové a datové komunikace [66].

4.1.3 LDACS

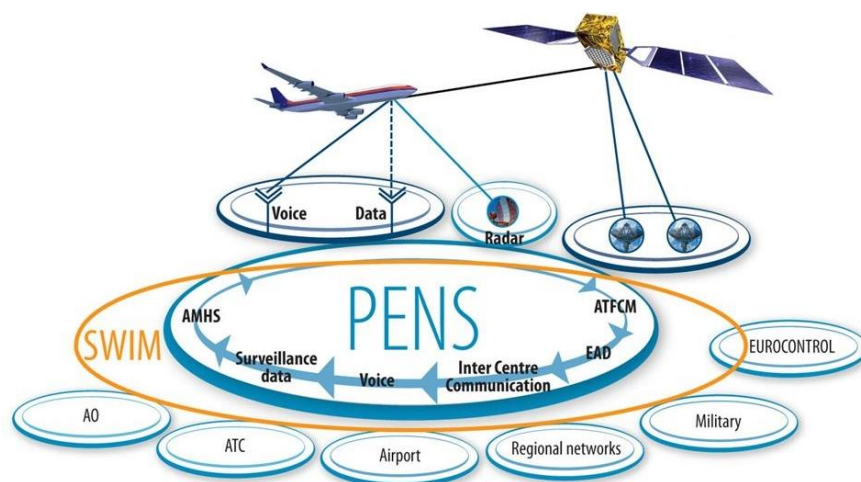
LDACS (L-band Digital Aeronautical Communications System) je terestriální, bezpečné, škálovatelné a spektrálně efektivní datové spojení s vestavěnou navigační schopností a je tedy prvním skutečně integrovaný systém CNS uznáný organizací ICAO [44]. Letové testy v březnu 2019 v rámci německého národního projektu MICONAV (Migration towards Integrated COM/NAV Avionics) prokázaly technologickou zralost systému pro leteckou komunikaci i navigaci [45].

Oproti současnému systému VDL 2 přináší LDACS širší pásmo (960-1164 MHz) s 50krát až 200krát (550 kbit/s – 2,6 Mbit/s) větší propustností dat. Kromě komunikace nabízí také navigační schopnosti podobné DME. Výsledkem je funkce **ANPT** (Alternative Position, Navigation and Timing) sloužící k doplnění stávajících palubních kapacit GNSS zařízení rozšířenou schopností přenosu dat vhodnou pro zlepšení MC/DF (Multi-Constellation/Dual-Frequency) GBAS. Kromě podpory systému GBAS, poskytuje také zabezpečenou a zvýšenou kapacitu propustnosti, která připravuje cestu pro navigační aplikace, jako je Trajectory-Based Operation (TBO) a plné 4D trajektorie [44].

4.1.4 NewPENS

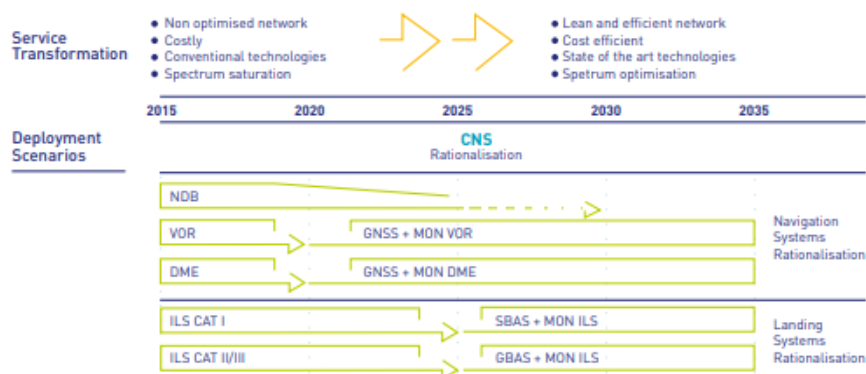
New Pan European Network Service (NewPENS) **není** dalším data-linkem kompletující službu CDPLC. Jedná se o **multi-link** propojující jednotlivé složky komunikační infrastruktury ve společnou, odolnou, spolehlivou a bezpečnou síť.

Využívání jednoúčelových a poměrně zastaralých komunikačních infrastruktur vedlo EUROCONTROL v roce 2009 k prvnímu impulzu pro vznik tohoto multi-linku. Funkce hlasové nebo datové komunikace dříve využívaly její vlastní, jednoúčelovou, specifickou komunikační infrastrukturu. To způsobovalo **nadměrné náklady a majoritní překážku při obměně služeb a technologií k rozvoji ATM systému**. Cílem NewPENS je být jedinou komunikační infrastrukturou spojující veškeré služby poskytované ATM. To umožní ANSP snížit komplexnost komunikačních infrastruktur a přestavět je na „jednu pokrývající všechny“. Současně vytváří ultra-odolnou síť pro veškeré ATM systémy k vzájemné,



Obrázek 11: Schéma multi-linku PENS propojeného sítí SWIM [58]

spolehlivé, bezpečné a nákladově efektivní výměně dat. Aplikace takové sítě umožňuje přístup i pro non-ANSP uživatele (provozovatele letadel, letiště, výrobní průmysl) k velkému množství leteckých dat (přehledová, meteorologická data, letové informace aj.) [21].



Obrázek 12: Scénář modernizace navigační infrastruktury dle ATM Master Plan 2020 [23]

4.2 Navigace

Modernizace palubních systémů pozemní a vesmírné infrastruktury za pomoci implementace nových funkcí anebo technologií nabízí optimalizaci celé navigační sítě. Takové kroky vedou k vytvoření navigační metody, jejíž systémy budou dosahovat vysoké dostupnosti, integrity, přesnosti a nepřetržitosti. Současně prohlubují bezpečnost a předvídatelnost leteckého provozu nákladově efektivním způsobem, což společně naplňuje požadavky SES.

Jednou z nových technologií, splňující dané vlastnosti, je již zmíněný GNSS. Ten splňuje požadavky PBN a vytváří příležitosti k modernizaci a optimalizaci zařízení DME, ILS. Doplnující systémy SBAS a GBAS vytvořily nové provozní možnosti pro všechny fáze letu a pozemního pohybu, předně však pro fáze **přiblížení na přistání** a **samotného přistání**. EU již v předchozích letech iniciovala jisté kroky týkající se zavedení vlastních technologií vesmírného sektoru označovaných jako **EGNOS** a **Galileo**.

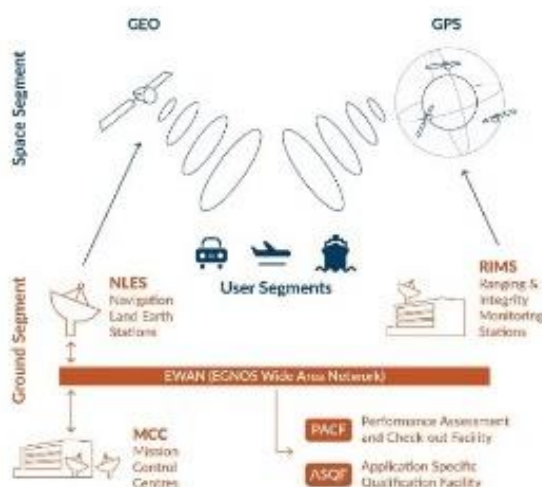
4.2.1 EGNOS

K prvnímu evropskému počínání v oblasti satelitní navigace došlo v roce 2005 spuštěním EGNOS v1 (European Geostationary Navigation Overlay Service). Jde o jeden ze světových systémů SBAS stejně jako např. WAAS, MSAS, GAGAN aj., **určených k zpřesnění informace o poloze a k přesnějšímu vedení letadla v horizontální a vertikální rovině**. V říjnu 2009 byla tato služba poprvé poskytnuta veřejnosti a pro potřeby civilního letectví byla certifikována v roce 2010 [18]. Současná infrastruktura systému EGNOS se skládá ze čtyř segmentů [3]:

1. **Pozemní segment** je tvořen sítí 40 referenčních monitorovacích stanic RIMS (Ranging Integrity Monitoring Stations), jejichž informace jsou předány mezi dvě kontrolní a zpracovatelská střediska MCC (Master Control Center), která generují navigační zprávy EGNOS. Takové zprávy jsou vysílány šesti pozemními stanicemi

NLES (Navigation Land Earth Stations) třem GEO (geostacionární družice). Veškeré komponenty pozemního segmentu jsou propojeny komunikační sítí EWAN (EGNOS Wide Area Network).

2. **Podpůrný segment** je doplňkem pro pozemní segment, který slouží k podpoře při plánování provozu systému a hodnocení výkonu. Konkrétně se jedná o Podpůrné zařízení pro tvorbu analýz (PACF) a Pomocné zařízení pro validaci služeb (ASQF).
3. **Kosmický segment** se skládá nejméně ze tří GEO (Inmarsat III, SES-5 a ASTRA-5B), vysílajících korekce a informace o integritě pro satelity GPS na kmitočtu L1 (1575,42 MHz).
4. **Uživatelský segment** tvoří přijímače schopné přesně vypočítat svoji polohu na základě kompatibility se signálem EGNOS.



Obrázek 13: Schéma systému EGNOS [3]

Systém EGNOS doplňuje svými vlastnostmi satelitní navigaci během všech fází letu, avšak doménou je fáze přiblížení a přistání. Kromě horizontálního vedení běžně dostupného systému GNSS, poskytuje EGNOS, respektive každý SBAS, relativně velmi přesné vertikální vedení. Z těchto schopností vychází přiblížení LPV podobající se přiblížení LNAV/VNAV avšak o obdobném výkonu jako při přiblížení ILS CAT I (porovnání přiblížení ILS CAT I a RNP APCH LPV pro dráhu 24 na letišti Praha-Ruzyně naleznete v příloze 2). EGNOS tak otevírá možnosti provozu i na letištích bez jakékoliv pozemní infrastruktury v podmínkách, kdy by to jinak možné nebylo. Podle LPV přiblížení je tak již dnes možné poskytnout vedení až na **DA/H rovnu 200 ft** nad bodem dotyku dráhy. Přiblížení LPV dále disponuje nižšími náklady vzhledem k systému ILS, což by ve finále mohlo snížit přistávací poplatky letišť. Výhodou v případě provedení veškeré navigace v režimu GNSS je snížení pracovní zátěže pilotů v náročných fázích přiblížení. Mimo to, nabízí výtečné výhody pro vrtulníky při pátracích a záchranných akcích a při transportu pacienta z náročného terénu do nemocnice [35]. Z environmentálního hlediska jsou přínosem zakřivená přiblížení pro letadla a přílety/odlety vrtulníků ze/do všech směrů. EGNOS snižuje celkový počet zpožděných, odkloněných a zrušených letů za současného zlepšení výkonnosti, bezpečnosti, efektivnosti a spolehlivosti leteckého provozu, čímž se opět snižuje dopad leteckého provozu na životní prostředí. EGNOS však **není řešením pro již velmi**

rušná letiště, která vyžadují vysokou kapacitu a výkonnost za každého počasí. Pro tyto účely se začalo s prvními experimenty týkajícími se systému GBAS ještě před vznikem EGNOS.

4.2.2 GBAS

„GBAS is a long-term project, but it represents the future of our airport in terms of navigation technology. On the GBAS issue, Frankfurt Airport once again is proud to be showing the way for the benefit of residents, the airlines and the industry at large“ [41].

Stefan Mauel v citaci výše uvádí, že se jedná o dlouhodobý projekt, reprezentující budoucnost letišť. Byť jsme teprve na počátku, již nyní jdou vidět výsledky. V periodiku, ze kterého text pochází, je ve čtyřech krocích popsána možnost snížení hluku využitím **jednoho systému GBAS** letišťem Fraport k poskytnutí vedení s větší strmostí sestupové roviny **pro veškeré dráhy letiště**. Pokud by se mělo dosáhnout stejného výsledku se systémy ILS, musely by být upraveny jednotlivé ILS systémy všech drah letiště. Letiště Fraport má celkem čtyři dráhy, z toho dvě jsou obousměrné pro vzlet i přistání, jedna je obousměrná pouze pro přistání a jedna je jednosměrná pouze pro vzlet (muselo by dojít k úpravě celkem šesti ILS systémů). Propojením postupů RNP a GLS k vytvoření zakřivené trajektorie pro přiblížení je možné dojít k ještě znatelnějšímu snížení hlukového zatížení v přilehlých oblastech. Současně GBAS přináší prospěšně přispívky k navýšení kapacity a bezpečnosti letišť a leteckého provozu.

Minima pro přiblížení v rámci systému EGNOS jsou v současné době stejná jako pro provoz ILS CAT I. GBAS, který již nabízí služby GAST A-C (GBAS Approach Service Type A-C) určené pro podporu vedení dle CAT I, je dnes implementován na několika evropských letištích (Frankfurt nad Mohanem, Brémy, Zurich, Malaga aj.). Kromě této služby probíhá R&D služby GAST D, založené na SC/SF (Single-Constellation/Single-Frequency) technologii (GPS L1 pouze) pro podporu vedení při vzletu a přistání za podmínek CAT III.⁵ Letiště ve Frankfurtu a Zurichu se proto zapojila, společně se svými ANSP, do vývojového a demonstračního projektu SESAR AAL [8] (Augmented Approaches to Land) v letech 2015-2016, a v letech 2018-2020 společně s dalšími menšími a středními letišti do projektu AAL 2,⁶ čímž usnadňují implementaci této nové technologie v rámci SES [36,81]. Ačkoliv služba GAST D by měla být platná pro provoz CAT III, ATM Master Plan 2020 počítá s další inovací ve formě služby **GAST F**. Oproti GAST D bude podporována technologiemi MC/DF (viz 4.2.3 Galileo). Tato služba by měla být více robustnější a zvýšením dostupnosti výkonu by mohla plně nahradit ILS a započít jeho úplnou deinstalaci.

4.2.3 Galileo

Ve stejném roce (2011), kdy došlo k certifikaci EGNOS pro potřeby civilního letectví, byl prostřednictvím Evropské kosmické agentury ESA (European Space Agency) zahájen projekt Galileo [30]. Jde o evropský autonomní GNSS stejně jako je americký GPS (Global

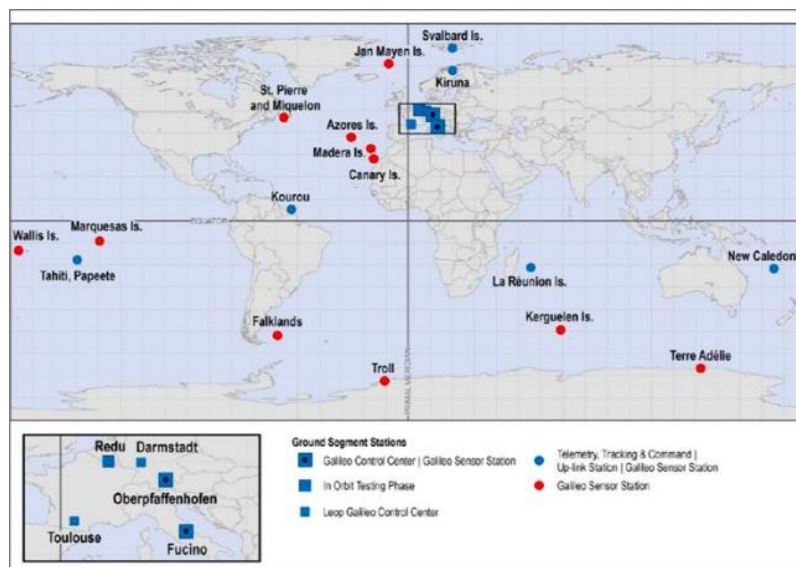
⁵ Pro CAT II nebyly stanoveny požadavky, proto je předpokládáno použití služby GAST D pro provoz CAT II, potencionálně může být použita i služba GAST C ve spojení s vhodnou integrací na úrovni letounu [77].

⁶ Projekt AAL2 je koordinován společností HONEYWELL INTERNATIONAL SRO v České republice [7].

Positioning System), ruský GLONASS (Globalnaja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistěma) či čínský BeiDou-3 (běidou dàoháng xitǒng). Oproti těmto třem systémům je Galileo prvním primárně civilním systémem **spadající pod civilní správu**. Služby PRS (Public Regulated Services) jsou oficiálně k dispozici spolu s Galileo OS (Open Services) a SAR službami od vydání prohlášení „Galileo Initial Services“ v prosinci 2016. Plná provozní kapacita (FOC) je očekávána v roce 2020 [33].

Infrastruktura navigačního systému Galileo je, stejně jako u ostatních satelitních systémů, rozdělena do tří segmentů:

1. **Kosmický segment** je odpovědný za vytváření, vysílání kódu a navigačních signálů a za uložení a přeposlání navigačních zpráv vydaných řídicím segmentem. Kosmický segment je sestaven do Walkerovy konstelace 24/3/1 [67]. Předpokládáno je zprovoznění ještě dalších 12 družic s nejdřívějším vypuštěním na konci roku 2020 [86]. K tomu, aby systém dosáhl FOC, je zapotřebí celkem 30 satelitů (24 nominálních a 6 v režimu „hot-back up“).
2. **Pozemní segment** nebo také řídicí segment provádí monitoring a zodpovídá za řádnou funkci GNSS systému. Jádrem pozemního systému jsou dvě řídicí střediska GCC (Galileo Control Centres).⁷ Pod každou z nich spadá CGS (Galileo Control Segment) a GMS (Galileo Mission System). CGS řídí a spravuje jednotlivé družice a jejich konstelaci, za pomoci pozemní sítě stanic TT&C (Telemetry, Tracking and Control). Oproti tomu se GMS zabývá sestavováním a nahráváním navigačních zpráv s daty o integritě signálů družic [82]. K nahrání navigačních zpráv do paměti družic (každých 100 minut) využívá celkem pěti stanic ULS (Galileo Uplink Stations). Sensorové stanice GSS (Galileo Sensor Stations) nepřetržitě sledují navigační signály všech družic a výsledná data zpracovávají každých 10 minut.⁸



Obrázek 14: Monitorovací stanice systému Galileo [75]

⁷ Oberpfaffenhofen Control Centre v Německu, s ‘hot backup’ nacházejícím se v Galileo’s 2nd Control Centre Fucino v Itálii.

⁸ Podrobněji se o pozemním segmentu dočtete: [31].

3. **Uživatelský segment** tvoří přijímače schopné přijímat signály Galileo a na jejich základě určovat pozici, rychlost a přesný čas [31].

GNSS v SES by se měl za pomoci systému Galileo v blízké budoucnosti stát MC/DF GNSS systémem rozšířeným o SBAS a GBAS a splňujícím PBN ve všech fázích letu [23]. Termínem multi-konstelací (MC) je myšlena spolupráce Galileo s GPS nebo i jinými GNSS. Tato integrace umožňuje snížit čas konvergence až o 60 % [48]. Dvoufrekvenční (DF) GNSS umožňuje uživateli přijímat frekvence L1 a L5 v případě GPS a E1/E5a nebo E1/E5b v případě systému Galileo. Tím se docílí snížení chyby způsobené ionosférou, rychlejšího rozlišení dvojznačnosti a použití technologie OTF (On-The-Fly) [83].

Výkonnost systému je charakterizována minimální úrovní výkonosti MPL (Minimum Performance Levels) služeb Galileo OS, jež jsou definovány v dokumentu popisující služby OS [24] z roku 2019. Výsledné hodnoty přesnosti a dostupnosti služeb vyplývající ze 3. čtvrtletní zprávy 2019 [32] ukazují, že byť ještě nebylo dosaženo FOC, služba **vykazuje mnohem lepší výsledky**, než jsou definované hodnoty MPL. Přesnost měřicího signálu SIS (Signal in Space) se pohybuje v řádu decimetrů a minimální dostupnost požadovaných přesností v horizontální a vertikální rovině je zajištěna i na nejhorších uživatelských pozicích (definici MPL dostupnosti Galileo pozicní služby pro AUL a WUL naleznete v příloze 3). Dokonce byla minimální dostupnost splněna i po týdenním výpadku systému Galileo v červenci 2019 [43]. Přesnost určování 3D polohy jednotlivými zařízeními, při PDOP⁹ ≤ 6 a za různých kombinací DF, byla nejhorší přesnost v měsíci září. Konkrétně, v 95 % měření byla hodnota lepší než 2,02 m v horizontální a 3,65 m ve vertikální rovině. Během měření došlo k chybám překračující 20 m jak v horizontální, tak vertikální rovině. Zastoupení těchto chyb bylo v průměru zhruba 0,05 % v horizontální a 0,09 % ve vertikální rovině.

SERVICE			NUMBER OF SATELLITES		
	Horizontal Accuracy (95%)	Vertical Accuracy (95%)	18	22	24
DF	≤ 4m	≤ 8m	86%	95%	99.5%
SF	≤ 15m	≤ 35m	80%	94%	99.5%

SPATIAL STATISTICS	SERVICE	NUMBER OF SATELLITES			
		18	22	24	
AUL	DF	H	2.3	1.8	1.5
		V	3.5	2.9	2.6
	SF	H	11.3	8.7	7.6
		V	17.2	14.0	12.8
WUL	DF	H	2.7	1.9	1.7
		V	3.8	3.3	3.0
	SF	H	13.4	9.5	8.2
		V	18.7	16.2	15.0

Obrázek 15: Předpokládaná dostupnost (vlevo) a přesnost 3D polohy (vpravo) po dosažení FOC [24]

V porovnání s GPS a jinými GNSS je systém Galileo **mnohem přesnější**. Kromě toho přináší výhody jako je např. ztráta závislosti na vojenských satelitních systémech, snížení chyb způsobovaných ionosférou využitím dvou frekvencí, lepší pokrytí v severních oblastech díky větší inklinaci aj. Na druhou stranu, datum zahájení FOC bylo již několikrát oddáleno a předpokládané náklady vzrostly z původních 4 miliard € na 10 miliard € [16]. Navzdory kritice i dosaženým úspěchům ESA pokračuje ve vývoji a v zdokonalování služeb.

⁹ Bezrozměrný parametr udávající vliv geometrie prostorového uspořádání družic GNSS a přijímače v konkrétní epoše na přesnost určení třírozměrné polohy přijímače.

Dosažením FOC by měla být dosažena **99,5% dostupnost** služby určení polohy s horizontální přesností lepší než 4 m a vertikální přesností lepší než 8 m v případě SF i DF. Přesnost určení nejhorší uživatelské polohy by pak měla být v 95 % lepší než **1,7 m v horizontální** a **3 m ve vertikální rovině** (viz obrázek 15) [24].

4.3 Dohled

V rámci vývoje CNS se v oblasti dohledu EUROCONTROL zaměřuje na zdokonalování tří hlavních vlastností [13]:

- **Interoperabilita** – zajištění, že veškerá rozhraní od avioniky po displeje budou spolupracovat tak, jak je od nich požadováno, a zabránění rušení od jiných systémů, jako jsou například mobilní telefony.
- **Výkonnost** – veškeré složky musí pracovat tak, že i v náročných provozních podmínkách budou ATCO schopni efektivně využívat přehledovou službu.
- **Efektivita** – podstatné úkoly musí být prováděny nákladově efektivním způsobem. Rádiové frekvenční spektrum musí být správně využíváno a mělo by dojít k rozšíření provozní oblasti ve vzdušných prostorech, kde to dříve nebylo možné.

Aktivita podniku SESAR ve vývoji a zavedení technologie v oblasti přehlednosti spočívá v implementaci optimální kombinace ADS-B, WAM (Wide-Area Multilateration) a sekundárních radarů módu S, což zapříčiní postupnou deinstalaci sekundárních přehledových radarů (SSR) módu A/C.

4.3.1 ADS

Získávání přehledu o vzdušné situaci bylo po dlouhou dobu založeno na principu SSR. I když je sekundární radiolokace stále dobrou metodou, růst hustoty leteckého provozu požadoval modernizaci této služby tak, aby odpovídala technologiím 21. století. **ADS-B** (Broadcast) je systém spolupracující se sekundárním odpovídačem módu S, poskytující přehled o vzdušné situaci předáváním dat jako např. identifikace letadla, současná poloha odvozená ze satelitní navigace, výška (barometrická i geometrická), rychlost (ground speed) aj. prostřednictvím standardních komunikačních linek (1090 MHz, VDL aj.). ADS-B nabízí oproti SSR kvalitnější přehled o situaci ve vzdušném prostoru pro ATC a pro posádky letadel, větší bezpečnost a kapacitu vzdušného prostoru zmenšením rozestupů a snížení dopadu na životní prostředí díky přímějším tratím a kontinuálním klesáním.

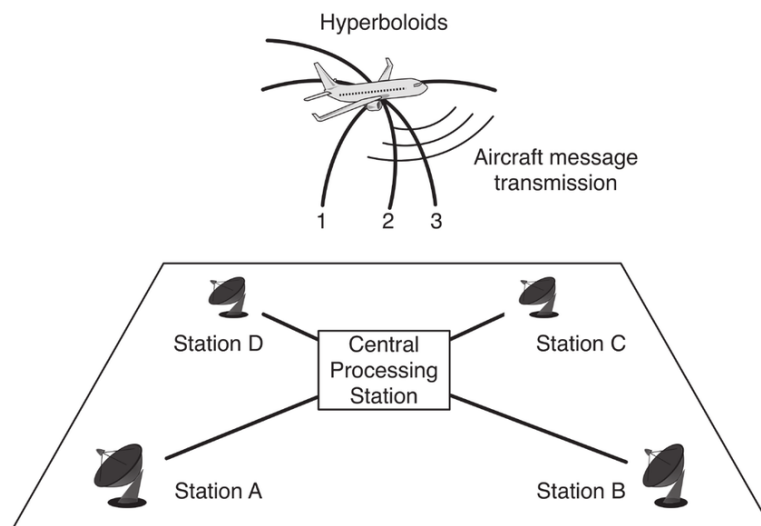
Systém ADS-B je dělen na **ADS-B Out** a **ADS-B In**. ADS-B Out odesílá výše zmíněné informace data-linkem z paluby letounu pozemní síti ADS-B přijímačů každou sekundu. Odtud jsou přijaté informace distribuovány střediskům ATC a jiným letadlům. Kdežto ADS-B In je schopen přijímat ADS-B Out data okolních letadel. Skrze tuto službu je možné přijímat kromě výše zmíněných informací také data o situaci ve vzdušném provozu ATSAW (Airborne Traffic Situation Awareness), data o vertikální a horizontální separaci, o povětrnostních podmínkách, zprávách NOTAM apod. Významné využití takových dat, ale

distribuovaných SSR, je již po řadu let spojováno protisrážkovými systémy ACAS/TCAS (Airborne Collision Avoidance System/Traffic Collision Avoidance System). Ve vývojové fázi je však pokročilejší řešení ACAS Xa, jež využívá k datovému spojení mezi jednotlivými letadly právě systém ADS-B Out/In. FOC tohoto systému je předpokládána do konce roku 2035 [72].

Rozšiřující služba **ADS-C** (Contract) považuje letadlo za senzor AIM/MET dat, který může taková data zpřístupnit pro další uživatele vzdušného prostoru. Informace sdílené systémem ADS-C umožní zvýšit situační povědomí, zlepšit strategické vytváření trajektorií a usnadnit rozhodování při plánování a korekci tratě.

4.3.2 WAM

Wide-Area Multilateration (WAM) je přehledová technika, která využívá signálů z letadla na frekvenci 1090 MHz k získání informace o poloze včetně výšky. V mnoha ohledech se podobá ADS-B, avšak konstrukce dat probíhá naprosto odlišnou cestou. Zatímco ADS-B aktivně vysílá data pozemním stanicím, WAM porovnává rozdílné časy příjmu signálů TDoA (Time Difference of Arrival) k plošně rozmístěným pozemním stanicím. V podstatě jde o SSR, který je mnohem přesnější,¹⁰ s několikanásobně nižšími náklady a výbornými vlastnostmi zejména v kopcovitém terénu, kde je přímá viditelnost SSR blokována. Budoucnost přehledových systémů by mohly tvořit právě tyto dvě techniky, kde ADS-B využívající mód S bude páteřním systémem a **WAM bude monitorovat jeho integritu a v případě selhání převezme jeho funkci.**



Obrázek 16: TDoA multilaterace – průsečík hyperboloidů 1-3 vypočítaný ze čtyř přijímačů A-D odhaluje místo vzniku signálů [74]

¹⁰ Dosahuje přesnosti určení polohy cíle 10-50 m [17].

5 Moderní navigační metody

Jak již bylo řečeno, celý koncept SES si kladl za cíl vytvořit efektivní, bezpečný a vyspělý vzdušný prostor šetrný k životnímu prostředí. V předchozích kapitolách jsou popsány technologie podporující jednotlivé letecké navigační služby leteckého provozu v takovém vzdušném prostoru. Teprve však jejich synergií bylo možné dosáhnout optimálních výsledků odpovídajícím cílům SES.

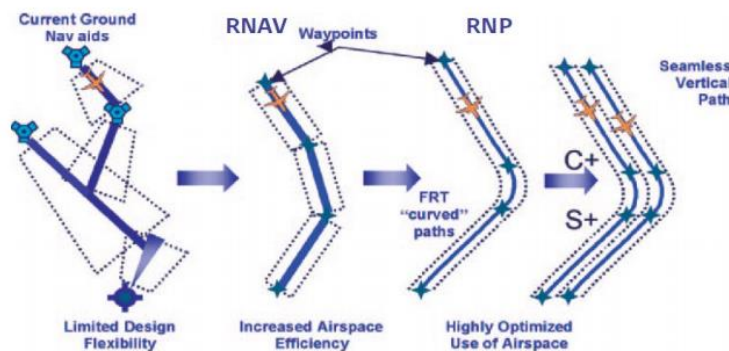
5.1 RNAV

Area Navigation RNAV byla vyvinuta v 60. letech 20. století za účelem zlepšení navigačních schopností pilotů [49]. Oproti navigaci poskytované pozemními zařízeními NAVAID, kdy je trať vedena „od majáku k majáku“, RNAV umožnil **navigaci letadla po jakékoliv definované trajektorii** v dosahu radionavigačního zařízení (NAVAID, GNSS) anebo v rozsahu možností autonomních navigačních zařízení (INS, IRS). Podmínkou je adekvátní vybavení daného letadla palubní avionikou označovanou jako RNAV systém. Požadovaná trať je pak vedena po traťových bodech tzv. „waypointech“, či podle postupů standardních přístrojových příletů (STAR) a odletů (SID), které musí RNAV systém obsahovat v navigační databázi. Aktuální poloha včetně vedení je pak poskytována výpočty navigačního počítače z dat jednotlivých navigačních senzorů.

5.2 RNP

Systémem RNAV byla zvýšena efektivnost využití vzdušného prostoru dosažením větší přesnosti navigace, avšak s jistými omezeními. Tato omezení byla překonána zavedením požadavků RNP, které vytváří možnosti užší a zakřivené tratě s fixním rádiem a možnosti aplikace paralelních offsetových tratí. Navigační specifikace RNAV nebo RNP doplněná číselnou hodnotou, která odpovídá očekávané horizontální přesnosti navigačního systému v námořních mílech v 95 % letové doby, odkazují na výkonnostní úroveň požadovanou pro specifický postup v určitém bloku vzdušného prostoru. Rozdíl mezi RNAV a RNP spočívá v požadavcích na **monitoring navigační výkonosti a varování v případě ztráty požadované úrovně**. Tyto požadavky zahrnuje pouze RNP. V praxi to znamená, že pokud letadlo splňující svým vybavením požadavky RNP nevykazuje předepsanou výkonost, dojde k varování letové posádky, která musí tuto skutečnost oznámit středisku ATC. Účelem RNP je prohloubit důvěru ATC ve výkonost letadla při udržování tratě, což se promítá ve schopnost umísťovat tratě blíže k sobě [63]. Důkazem o spolehlivosti a prospěšnosti RNAV a RNP je přibývající počet RNP/RNAV přiblížení v Evropě, která již přečísčila počet ILS přiblížení.¹¹

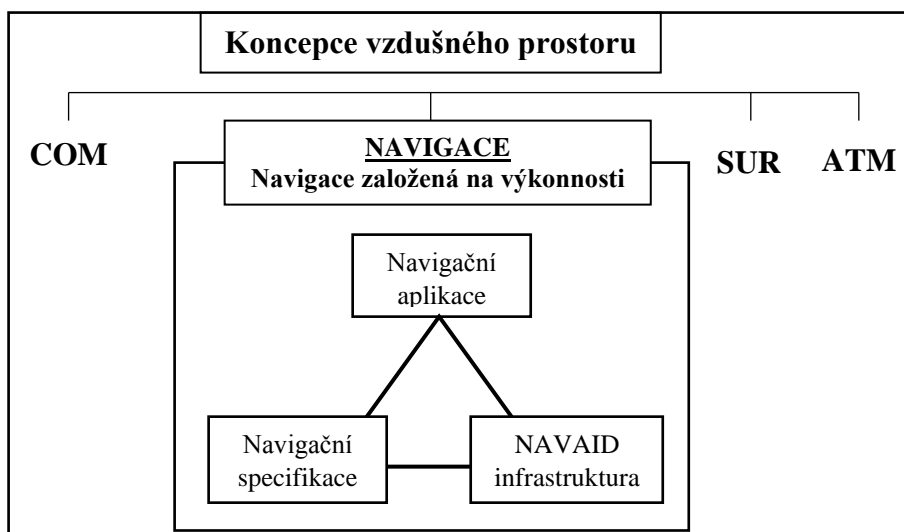
¹¹ Paralelní tratě letu posunutě o danou vzdálenost ve specifikovaném směru.



Obrázek 17: Vývoj ATS tratí od konvenčních tratí nalevo přes RNAV tratě až k RNP tratím [57]

5.3 PBN

ICAO PBN Manual (Doc 9613) [38] definuje PBN jako prostorovou navigaci založenou na výkonnostních požadavcích letadla provozovaného podél tratě ATS (Air Traffic Services) podle postupů přístrojového přiblížení nebo v určeném vzdušném prostoru. V takovém vzdušném prostoru jsou požadavky na výkon vyjádřeny v navigačních specifikacích, ve smyslu **přesnosti, integrity, kontinuity a funkčnosti** potřebné pro navrhovanou činnost. V rámci koncepce vzdušného prostoru je třeba zvážit dostupnost signálu GNSS SIS nebo jiné vhodné navigační infrastruktury, umožňující použití prostorové navigace.



Obrázek 18: Koncepte vzdušného prostoru založeném na výkonnosti [38]

Koncept PBN byl definován na 36. zasedání Shromáždění ICAO jako zastoupení předchozímu konceptu RNP, který byl namísto toho podstatně rozšířen a modifikován, ale podřazen PBN. PBN tak integruje původní požadavky navigační výkonnosti (přesnost, integrita, kontinuita a funkčnost) do tzv. **navigační specifikace**. Kromě navigační výkonnosti spadají do navigační specifikace také požadavky na výcvik palubního a pozemního personálu, postupy k dosažení výkonnostních požadavků a navigační funkce požadované k dosažení zmíněné výkonnosti [59].

Navigační infrastruktura přináší způsob, jakým jsou dané navigační specifikace zabezpečovány. Podle umístění ji lze rozdělit na pozemní (zejména DME s podporou

VOR), kosmickou (GNSS) a autonomní infrastrukturu (INS, IRS). Těžiště celé navigační infrastruktury PBN se však nachází pouze v globální satelitní navigaci (GNSS).

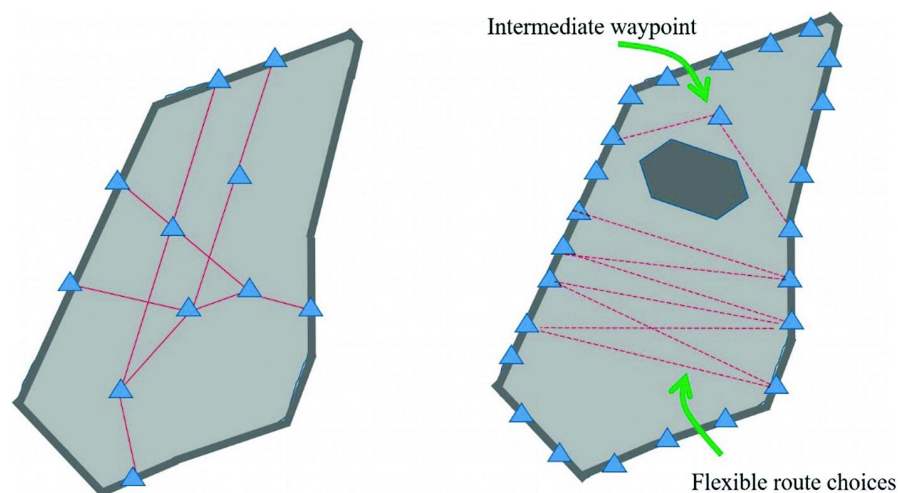
Konkrétní postup navržený pro daný vzdušný prostor podle požadavků navigační specifikace s podporou navigační infrastruktury dostupné v daném vzdušném prostoru je označen jako **navigační aplikace**.

5.4 4D trajektorie

Implementace PBN, zvyšující úroveň důvěry v navigační výkonnost, otevřela možnosti pro další způsoby efektivnějšího využití vzdušného prostoru a pro zvýšení kapacity a bezpečnosti leteckého provozu. Jednou z právě zkoumaných možností je provoz 4D (dimenze) trajektorií také 4D TBO (Trajectory Based Operation). Zatímco nynější ATM je založen na letovém plánu a taktických zásadách ze strany ATC během letu, myšlenkou provozu TBO je vytvořit **ATM systém schopný předpovídat úpravy a vytvářet nejvhodnější tratě na základě informací sdílených mezi všemi zúčastněnými stranami** [76]. 4D TBO by tak zajistil lepší předvídatelnost, propustnost a efektivnost leteckého provozu. Sekundárně by se tak zlepšila kvalita leteckých navigačních služeb, dopad na životní prostředí, zvýšila by se bezpečnost a kapacita leteckého provozu při zachování pracovní zátěže v přijatelných mezích. Snahy o implementaci takového provozu jsou vyvíjeny jak v evropském programu SESAR, tak i v programu NextGen spadající pod Spojené státy americké. Navzdory tomu, že se jedná o stejný koncept, SESAR i NextGen k jeho dosažení pravděpodobně využijí poněkud odlišné metody a technologie. Opravdovou výzvou bude nejspíš učinit tyto dva systémy interoperabilní.

Provoz letadel podle konceptu 4D TBO **je založen na třech prostorových dimenzích, doplněných o čas jako čtvrtou dimenzi**. To znamená, že jakékoliv zpoždění je de facto zakřivení trajektorie, stejně jako změna hladiny či horizontální polohy. Provoz letadel by byl veden po tzv. Reference Business Trajectory (RBT). Označují se tak tratě zvolené uživatelem a schválené letišti a ANSP. Cílem těchto tratí je dosažení nejlepšího výsledku pro let z pohledu provozovatele letadla.

Klíčovým prostředím k volnému využívání RBT je implementování FRA (Free Route Airspace). V takovém vzdušném prostoru mohou uživatelé volně plánovat trať mezi počátečním a koncovým bodem bez ohledu na zveřejněné ATS tratě. Dle EUROCONTROL [29] by tak došlo ke snížení spotřeby paliva až o 3 000 tun/den. Ovšem problém by mohl nastat v nadměrné zátěži ATCO a velké závislosti na systémech ACAS/TCAS. Zrušením ATS tratí, které představují „vzdušné dálnice“, by došlo ke ztrátě přehledu o kritických místech, ve kterých dochází k častému sblížení letadel. V tomto ohledu musí být udržena pracovní zátěž ATCO a posádek letadel v přijatelných mezích. K tomu je zapotřebí dobrá předvídatelnost provozu a implementace nástrojů k podpoře rozhodování tzv. Decision Support Tools (DSTs). Z těchto důvodů již probíhají výzkumné, vývojové a zaváděcí fáze přehledových systémů jako jsou ADS-B Out/In, ADS-C, WAM, ACAS Xa aj. (viz 4.3 Dohled).



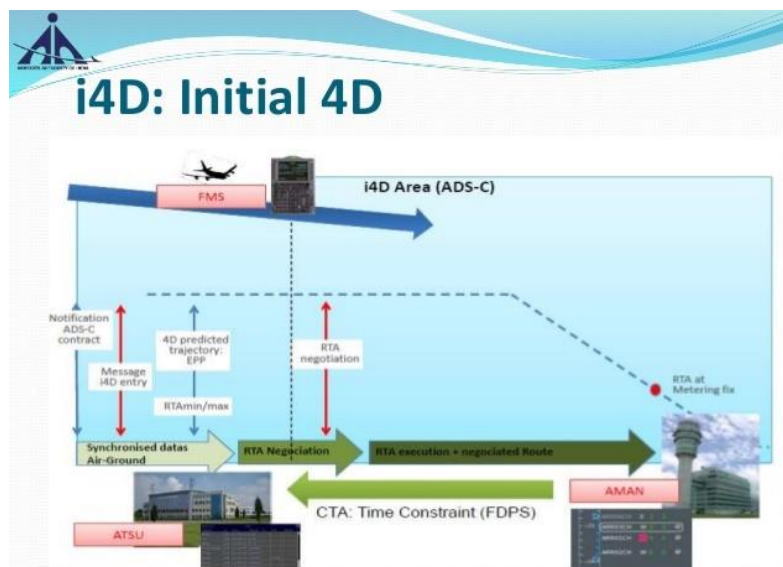
Obrázek 19: Rozdíl mezi ATS tratěmi po "waypointech" (vlevo) a tratěmi v rámci FRA (vpravo) [46]

Markantní rozdíl programu SESAR vůči NextGen se nachází v roztržitosti vzdušného prostoru. Zatímco NextGen spolupracuje pouze s jedním ANSP, SESAR spolupracuje celkem s 38 ANSP. Implementovat FRA jednotlivě v každém vzdušném prostoru daného ANSP by nebylo příliš užitečné. FRA je tak jedním z hnacích motorů volající po původní myšlence SES o sjednocení vzdušných prostorů. SESAR se proto snaží propojit jednotlivé vzdušné prostory, bez ohledu na jejich národní hranice, které spadají pod odlišné ANSP prostřednictvím tzv. funkčních vzdušných bloků FAB (Functional Airspace Blocks). Služba by měla být poskytována rozšířenou spoluprací mezi dotčenými ANSP či odpovídajícím integrovaným poskytovatelem. Konceptem FAB je sice řešena fragmentace vzdušného prostoru, avšak jeho myšlenka stále nebyla dosažena. Členské státy jednotlivých FAB se v těchto iniciativách nedostatečně angažují kvůli obavám o zachování suverenity nad vlastním vzdušným prostorem. Některé z členských států však již začaly projevoval snahu zřídit struktury a postupy podporující spolupráci mezi evropskými ANSP [71]. Jednou z takových struktur je **SWIM** (System Wide Information Management), která slouží ke sdílení veškerých autorizovaných informací mezi všemi zúčastněnými stranami [39].

Nejdůležitějším činitelem 4D TBO však zůstává čas. Dodržování časového omezení RBT (-2 minuty; +3 minuty) zatím nezpůsobovala zásadnější problémy. Nicméně pro provoz 4D TBO by byla taková tolerance nedostatečná. Z tohoto důvodu je CTA (Controlled Time of Arrival), tedy čas, ve kterém musí letadlo dosáhnout měřený bod (většinou se jedná o IAF (Initial Approach Fix)), zúžen na toleranci (Time Window) pouhých ± 30 vteřin.¹² Splnit takové požadavky podporuje systém AMAN (Arrival Manager) vyvinutý v 90. letech 20. století. Na základě získaných informací (povětrnostní podmínky, radarová data, letové plány, výkonnost letadel) vytváří sekvence pro plánované časy přiletu jednotlivých letů. V případě sblížení více letadel ke společnému bodu vytváří pro ATCO doporučení k aplikaci metody pro ztrátu nebo zisk času tzv. Time to Lose/Time to Gain. Tím jsou zajištěny nezbytné separace a propustnost leteckého provozu. V současné době probíhá výzkum pro spolupráci pokynů systému AMAN k dosažení CTA za pomoci FMS (Flight Management System) a systémů zajišťujících dosažení RTA (Required Time of Arrival). Ke

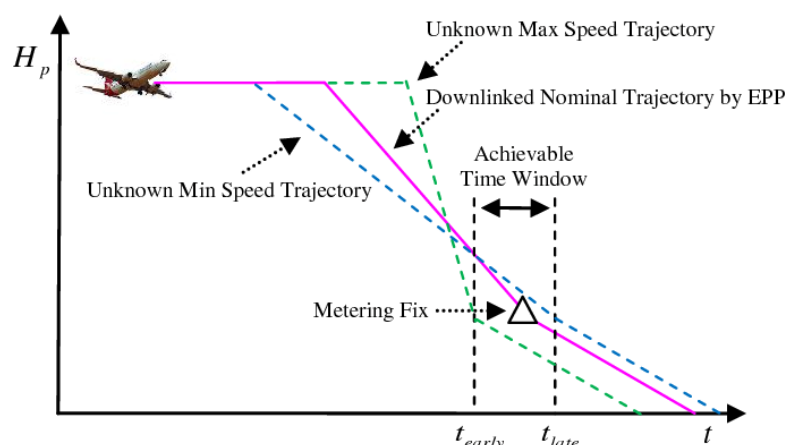
¹² Při testovacím letu Stockholm-Arlanda bylo se současnou avionikou dosaženo CTA s přesností na 4 sekundy k IAF a méně než 15sekundovou přesností k prahu dráhy [19].

sdílení takových informací je hlasová komunikace neadekvátní, proto bude k takovému úkolu využíváno převážně datové komunikace (viz 4.1 Komunikace).



Obrázek 20: Schéma i4D přiblížení [69]

Výsledky několika testů provedených v letech 2007-2012 ukazují, že letadla i posádka jsou schopny dodržet CTA v dané toleranci ± 30 vteřin [1,53]. Provoz se během těchto testů stal více předvídatelný, čímž se snížily potřeby pro vektorování a vyčkávání letadel při konečných fázích letu. Ovšem podle výpovědi pilotů provádějících testy v roce 2007 je letová efektivnost srovnatelná s tou tehdejší a časté měnění rychlosti z důvodu dodržení CTA vedlo k vyšší spotřebě paliva. Navíc docházelo k větší pracovní zátěži na posádku, s čímž se však počítalo. Pochybnosti vidí piloti hlavně v neočekávaných událostech jako jsou povětrnostní podmínky, zpoždění při nastupování cestujících do letadla, zajištění separací aj., které mohou vyvolat znovu projednání RBT [1].



Obrázek 21: Změna vertikálních profilů klesání k dodržení RTA nad měřeným bodem [11]

Řešení navrhovaná v rámci implementace 4D trajektorií vytváří stavební kameny pro nové funkce budoucích ATM systémů. Postupnými kroky by se tak letecký provoz mohl dostat k provozu založeném na přesné časové organizaci, tedy TBO. Takový provoz může přinést vynikající výsledky z ekonomického i bezpečnostního hlediska, avšak spousta

problému s tím souvisejících nám stále zůstává skryta. Kvůli velkému množství neznámých činitelů a náročnému vývoji nebylo konečné datum FOC ještě zveřejněno. 4D trajektorie proto budou vznikat v několika fázích. První fází je tzv. „**Initial-4D**“ (I-4D), kde jsou palubní počítačové předpovědi o trajektorii letadla sdíleny s pozemními systémy AMAN, k vytvoření sekvencí pro všechna letadla přibližující se k jednomu společnému bodu v definované oblasti [19]. V současné době probíhá implementace prvku „S-AF6.1 — Initial trajectory information sharing (i4D)“, který spočívá v pokročilém využití cílových časů a dat o 4D trajektoriích k menšímu množství taktických zásahů. K tomuto sdílení bude docházet za podpory ADS-C. Řešení by mělo dosáhnout FOC do konce roku 2024 [65].

Závěr

Letecké navigační služby se postupně vyvíjely tak, aby pokryly požadavky dané doby a zajistily tak efektivní a bezpečný tok letecké dopravy. Od počátků 20. let minulého století se podpory leteckých navigačních služeb ujal konvenční radionavigační prostředky (NAVAID). Díky jejich technologickému vývoji a rozšiřování bylo možné letecké navigační služby po dlouhou dobu splňovat. Vznikem přistávacího systému ILS došlo k rozšíření provozu letecké dopravy i pro případy, kdy přistání dřív nebylo možné kvůli špatným povětrnostním podmínkám. Pokusy o rozšíření MLS nebyly úspěšné z důvodu vysokých nákladů spojených s jeho infrastrukturou. V druhé polovině 20. století došlo k zavedení prvních RNAV tratí, což mělo pozitivní dopady na výkonnost vedení letadel po trati a na úroveň bezpečnosti leteckého provozu.

Revoluci navigačních služeb přinesly systémy GNSS. V dnešní době je kosmický sektor značně využíván v rámci celé CNS infrastruktury. Z počátku byly tyto systémy převážně využívány pro vedení po trati, ale s příchodem systému SBAS bylo zabezpečeno využití i pro přiblížení na přistání s vertikálním vedením. Tento typ přiblížení je však brán jako druhořadý a využívá se spíše na letištích s nižším počtem pohybů a jako alternativní řešení pro vytížená letiště. Výborné odezvy se však dostává od systému GBAS. Tento systém může zajistit několik různých typů přiblížení pro více drah v okolí. Splňuje tak cíle vytýčené konceptem SES na snížení nákladů služeb ATM, snížení dopadu na životní prostředí, navýšení kapacity a zlepšení bezpečnosti leteckého provozu. Kromě navigace přispívá kosmický sektor k podpoře spolehlivé komunikace v oceánských a odlehlých oblastech. Sekundární funkci plní i v rámci dohledu nad leteckým provozem.

Vzájemnou integritou mezi jednotlivými technologiemi CNS infrastruktury a monitoringem výkonosti s varováním v případě její ztráty, došlo k zavedení navigačních specifikací RNP. Postupem času byly tyto navigační specifikace doplněny o další požadavky, čímž vznikla nová koncepce vzdušného prostoru PBN. Její implementací je možné zasahovat do postupů jednotlivých fází letů a dosáhnout tak zmiňovaných cílů. V návaznosti na růst leteckého provozu v posledních letech se EUROCONTROL začal zabývat dlouhodobým řešením nedostatečné kapacity vzdušného prostoru. Toto řešení spočívá v aplikaci provozu založeném na trajektoriích, tedy TBO. K takovému provozu se dostáváme postupnou implementací jednotlivých technologií, metod a funkcí v rámci 4D trajektorií. Implementace 4D trajektorií není úplně snadná, proto je její aplikace plánována ve více fázích. Finálním zavedením by se však měla udržet pracovní zátěž palubních posádek i ATCO v přijatelných mezích, zlepšila by se předvídatelnost a dochvilnost letecké dopravy, snížilo by se množství emisí aj. Těmito kroky opět navýšíme potřebnou kapacitu, zlepšíme efektivnost a bezpečnost leteckého provozu.

Téměř totožné řešení nabízí projekt NextGen. Oproti němu probíhá v Evropě veškerý proces mnohem pomaleji. Důvodem je vysoká roztříštěnost vzdušného prostoru, což způsobuje nesynchronizované zavádění nových technologií mezi jednotlivými ANSP. Synchronizované zavádění je přitom hlavním bodem úspěšného přechodu k novému režimu. Ze současné stavu evropského vzdušného prostoru vyplývá, že podstoupené kroky v rámci konceptu SES byly z hlediska tehdejšího stavu vzdušného prostoru nezbytné, avšak nebyly dostatečné k udržení takového stavu v kontextu narůstající hustoty leteckého provozu.

Současně byla předpokládána úspěšnost projektu spíše nadhodnocena, což se projevilo v postupném oddalování konečného data dokončení projektu SES. SESAR by tak měl přehodnotit očekávané náklady a výsledky svých jednotlivých návrhů řešení, najít cestu k navázání hlubší spolupráce mezi jednotlivými ANSP a starat se o synchronizovaný vývoj leteckých navigačních služeb v rámci všech členských států.

V průběhu zpracovávání této práce došlo ve světě k rozšíření nemoci způsobované virem COVID-19. Jeho rychlé rozšíření ukázalo, jak je náš dnešní svět globalizovaný a jak málo je letecká doprava odolná vůči takovým rizikům. V současné době je většina mezinárodních letišť buď úplně uzavřena, nebo operuje jen ve velmi omezeném režimu. Se současným uzavřením hranic se dostává hustota letecké dopravy o desetiletí nazpět. Dne 2. 5. 2020 se počet provedených letů doslal na 2 451 letů, což představuje pokles o 91,4 % vůči dennímu průměru. Počet minut zpoždění za onen den byl roven nule. Takový scénář tedy vyřešil téměř veškeré problémy, se kterými se ATM systém potýká. Na druhou stranu je možnost využití letecké dopravy k cestování jen velmi omezená a spousta aerolinií se dostala do finanční tísně, kdy některé z nich již byly donuceny zanechat své činnosti. Tento způsob zvýšení bezpečnosti a kapacity vzdušného prostoru, snížení nákladů, doby zpoždění a dopadu na životní prostředí nelze tedy považovat za ideální. Je jen otázkou času, jak se s takovou situací vypořádáme a jestli se letecká doprava dostane do stavu před krizí. Za mě nezbyvá než doufat, že tento čas bude z hlediska vývoje a implementace nových metod a technologií k zajištění poskytování lepších leteckých navigačních služeb využit co možná nejlépe.

Seznam použité literatury

- [1] 4D trajectory management: an initial pilot perspective. *EUROCONTROL: Supporting European Aviation* [online]. 23/06/2008 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/eec/public/standard_page/EEC_News_2008_2_TM.html>.
- [2] 8.33 kHz implementation support [online]. EUROCONTROL [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <<https://www.eurocontrol.int/function/833-khz-implementation-support>>.
- [3] About EGNOS: Architecture. *EGNOS User Support* [online]. 27.4.2020 [cit. 2020-04-29]. Dostupné z: <https://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/egnos-system/about-egnos>.
- [4] *Aeronautical mobile airport communications system datalink* [online]. EUROCONTROL [cit. 2019-03-27]. <<https://www.eurocontrol.int/system/aeronautical-mobile-airport-communications-system-datalink>>.
- [5] Air navigation services. In: *EUROCONTROL ATM Lexicon* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001, 29.09.2010 [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: <https://ext.eurocontrol.int/lexicon/index.php/Air_navigation_services>.
- [6] *Air Traffic Management: Freeing European's airspace*. COM (96) 57 final. Brussels: European Commission, 1996. ISBN 92-78-01347-1. ISSN 0254-1475.
- [7] Augmented Approaches to Land 2. *CORDIS* [online]. Luxembourg: Publications Office of the EU, 20.4.2020 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <<https://cordis.europa.eu/project/id/783112>>.
- [8] *Augmented Approaches to Land* [online]. [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <<http://www.aaldemo.eu>>.
- [9] BORDEN, R. C., C. C. TROUT a E. C. WILLIAMS. *Evaluation of 100-channel Distance Measuring Equipment* [online]. Indianapolis, Indiana: Civil aeronautics administration technical development and evaluation center, 1950 [cit. 2020-03-06]. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=Z5zIO_3RuakC&pg=PP5&lpg=>>.
- [10] BRIDDON, Arnold E., Ellmore A. CHAMPIE a Peter A. MARRAINE. *FAA Historical Fact Book: A Chronology, 1926-1971* [online]. FAA Office of International Service, 1974, [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <<https://books.google.cz/books?id=CvdHAQAIAAJ&lpg=>>>.
- [11] BRONSVOORT, Jesper. Figure 1: Changing vertical profiles with time at waypoint on descent. In: *Semantic Scholar* [online]. 2015 [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <<https://www.semanticscholar.org/paper/Real-Time-Trajectory-Predictor-Calibration-through-Bronsvoort-McDonald/c38dbe85a55f05b03256c537d13c81d6a1add87d>>.
- [12] *CODA Digest: All-causes delay and cancellations to air transport in Europe* [online]. EUROCONTROL, 2019, 2019(Q2) [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-09/coda-digest_q2-2019.pdf>.
- [13] *Communications, navigation and surveillance* [online]. EUROCONTROL [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <<https://www.eurocontrol.int/communications-navigation-and-surveillance>>.
- [14] Continuous Descent Final Approach. In: *SKYbrary* [online]. SKYbrary, 29.4.2019 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <[https://www.skybrary.aero/index.php/Continuous_Descent_Final_Approach_\(CDFS\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Continuous_Descent_Final_Approach_(CDFS))>.
- [15] *Datalink* [online]. EUROCONTROL [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <<https://www.eurocontrol.int/function/datalink>>.
- [16] DINERMAN, Taylor. What will Galileo cost? *The Space Review: essay and commentary about the final frontier* [online]. 11.4.2005 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <<https://www.thespacereview.com/article/353/1>>.
- [17] DRÁPAL, Bc. Stanislav. *Využití SSR Módu S pro řízení pohybů letadel a vozidel po ploše letiště*. Brno, 2015. Diplomová práce. VUT v Brně. Vedoucí práce doc. Ing. Slavomír Vosecký, Csc.
- [18] EGNOS – Evropská „podpůrná“ geostacionární navigační služba. *Český kosmický portál: Informační stránky Koordinační rady ministra dopravy pro kosmické aktivity* [online]. [cit. 2020-04-29]. Dostupné z: <<https://www.czechspaceportal.cz/3-sekce/gnss-systemy/egnos/>>.
- [19] ENEA, Gabriele a Marco PORRETTA. *A comparison of 4D Trajectory operations envisioned for NextGen and SESAR, some preliminary finding*. Dostupné také z: <<https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/2377.pdf>>.
- [20] EUROCONTROL. *RNAV Approaches* [online]. EUROCONTROL, 2016 [cit. 2020-4-18]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/eec/gallery/content/public/documents/newsletter/2010/issue_2/RNAV%20Approaches%20leaflet.pdf>.
- [21] EUROCONTROLTC. CS#8 – Pan European Network Service (PENS). In: *YouTube* [online]. 05.03.2014 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <<https://www.youtube.com/watch?v=RxwFQwySoGI>>.
- [22] *European ATM Master Plan* [online]. Brussels: Commission of the European Communities, 2009 [cit. 2020-3-19]. Dostupné z: <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/European_ATM_Master_Plan.pdf>.

- [23] *European ATM Master Plan: Digitalising Europe's Aviation Infrastructure* [online]. 2020 edition. Luxembourg: Publications Office of the EU, 2020, [cit. 2020-3-19]. ISBN 978-92-9216-134-7.
- [24] European GNSS (Galileo) Open Service Definition Document (OS-SDD) [online], Issue 1.1, European Union, květen 2019 [cit. 2020-4-29]. Dostupné z: <https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Galileo-OS-SDD_v1.1.1.pdf>.
- [25] Evropská integrace ATM. *Řízení letového provozu ČR* [online]. Jeneč: ŘLP ČR, s.p. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <<http://www.rlp.cz/spolecnost/tisk/Stranky/EvropskaIntegraceATM.aspx>>.
- [26] *Fact sheet* [online]. © SESARJU 2020 [cit. 2020-4-22]. Dostupné z: <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/Factsheet_SESAR_A4.pdf>.
- [27] First Blind Takeoff, Flight and Landing, 1929. *ETHW* [online]. 24.9.2014 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: <https://ethw.org/Milestones:First_Blind_Takeoff,_Flight_and_Landing,_1929>.
- [28] FOREST, Lee De. *Wireless signaling apparatus*. United States. 771,919. Přihlášeno 28.5.1904. Uděleno 11.10.1904.
- [29] *Free route airspace* [online]. EUROCONTROL [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <<https://www.eurocontrol.int/concept/free-route-airspace>>.
- [30] Galileo General Introduction. In: *ESA NAVIPEDIA* [online]. 16.3.2020 [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_General_Introduction>.
- [31] Galileo Ground Segment. In: *ESA NAVIPEDIA* [online]. 18.3.2020. Dostupné z: <https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_Ground_Segment>.
- [32] *Galileo Initial Open Service Public Performance Report: July-September 2019* [online]. [European Union], 2019 [cit. 2020-4-29]. Dostupné z: <https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Galileo-IS-OS-Quarterly-Performance_Report-Q3-2019.pdf>.
- [33] Galileo Initial Services. In: *GSA* [online]. Prague, Czech Republic: GSA, ©2016, 30.10.2018 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <<https://www.gsa.europa.eu/galileo/services/initial-services>>.
- [34] GBAS Landing System (GLS). In: *SKYbrary* [online]. SKYbrary, 10.9.2017 [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <[https://www.skybrary.aero/index.php/GBAS_Landing_System_\(GLS\)](https://www.skybrary.aero/index.php/GBAS_Landing_System_(GLS))>.
- [35] GNNS CENTRUM CZ. EGNOS pro letectví. In: *YouTube* [online]. 30.10.2015 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=DKJNTkV-H_Y&feature=youtu.be>.
- [36] Ground Based Augmentation System (GBAS) for Frankfurt and zurich Airports. *European Commission* [online]. Brussels [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/transport/modes/air/ses/ses-award-2016/projects/gbas_en>.
- [37] How Amateur Radio Sank the Titanic. *Arcadia Publishing* [online]. [Charleston, South Carolina]: Arcadia Publishing, [1993] [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: <<https://www.arcadiapublishing.com/Navigation/Community/Arcadia-and-THP-Blog/April-2018/How-Amateur-Radio-Sunk-the-Titanic>>.
- [38] ICAO. Doc 9613. Performance-based navigation (PBN) manual. 4th ed. Montréal, Quebec: International Civil Aviation Organization, 2013. ISBN 978-92-9249-175-8.
- [39] Initial System-Wide Information Management (SWIM) technology solution: # 46 /Release 5. *SESAR: Joint Undertaking* [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <<https://www.sesarju.eu/sesar-solutions/swim-technology-solution>>.
- [40] Integrated Roadmap. *EATM Portal* [online]. EUROCONTROL, 2020, 18.12.2019 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <<https://www.atmmasterplan.eu/rnd/integrated-roadmap>>.
- [41] *International Airport Review* [online]. Hogtrough Hill, UK: Russell Publishing Ltd, Court Lodge, 2015, 2015(#4) [cit. 2020-04-28]. ISSN 1366-6339. Dostupné z: <<https://www.internationalairportreview.com/digital/iar-issue-4-2015/index.html>>.
- [42] JEPPESEN. *JeppView for Windows: Terminal Charts For LKPR* [online]. In: © JEPPESEN SANDERSON, 2020, 7.2.2020 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <<https://vau.aero/navdb/chart/LKPR.pdf>>.
- [43] LAZŇOVSKÝ, Matouš. Evropská navigace Galileo již několik dní nefunguje. *IDNES.cz* [online]. 16.7.2019 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://www.idnes.cz/technet/technika/sluzba-galileo-vypadek.A190715_152654_tec_technika_mla>.
- [44] *LDACS White Paper – A Roll-out Scenario* [online]. Montreal, Canada: International Civil Aviation Organization, 2019, [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: <<https://www.ldacs.com/wp-content/uploads/2013/12/ACP-DCIWG-IP01-LDACS-White-Paper.pdf>>.
- [45] LDACS, aviation's future terrestrial datalink, takes a big step forward. *EUROCONTROL* [online]. ©2020, 4.4.2019 [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: <<https://www.eurocontrol.int/news/ldacs-aviations-future-terrestrial-datalink-takes-big-step-forward>>.
- [46] LEE, Keumjin a Hiroko HIRABAYASHI. Towards a Concept of Free Routing in the Northeast Asia/Pacific Region. In: ZHANG, Xinguo. *The Proceedings of the 2018 Asia-Pacific International*

- Symposium on Aerospace Technology (APISAT 2018)* [online]. Vol 459. Singapore: Springer, 2019, 8.6.2019 [cit. 2020-06-10]. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-3305-7_176. Dostupné z: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-3305-7_176#citeas.
- [47] LEJARD-BOUTSAVATH, Edith, Jean-Jacques MARTZ a Francis ROSENSTIEL. *European Yearbook* [online]. Vol. XLVII. Hague, Netherlands: Kluwer Law International, 2001, s. 39 [cit. 2020-04-30]. ISBN 90-411-1677-X. ISSN 0167-6717. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=a_WIJJpgULUC&pg=RA11-PA39&lpg.
- [48] LOU, Yidong, Fu ZHENG, Shengfeng GU, Charles WANG, Hailin GUO a Yanming FENG. Multi-GNSS precise point positioning with raw single-frequency and dual-frequency measurement models. In: *GPS Solutions* [online]. 2016, 20(4), s. 849-862 [cit. 2020-04-28]. DOI: 10.1007/s10291-015-0495-8. ISSN 1080-5370. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10291-015-0495-8>.
- [49] MATTHEWS, Reginald C. Establishment of Area Navigation Routes (RNAV). *Federal Register: The Daily Journal of the United States Government* [online]. Washington, DC, 2003, 05/09/2003 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://www.federalregister.gov/documents/2003/05/09/03-11638/establishment-of-area-navigation-routes-rnav>.
- [50] MAYER, Roger. The Australian DME System. *The Civil Aviation Historical Society & Airways Museum* [online]. [cit. 2020-03-06]. Dostupné z: <http://www.airwaysmuseum.com/Aus%20DME%20p1.htm>.
- [51] MIDDLETON, Ian. *SINGLE EUROPEAN SKY versus NEXTGEN (US) FROM A REGULATORY PERSPECTIVE* [online]. In.: 27.4.2012 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://slideplayer.com/slide/5669877/>.
- [52] MOLA, Roger. History of Aircraft Landing Aids. *Centennial of Flight* [online]. [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: https://www.centennialofflight.net/essay/Government_Role/landing_nav/POL14.htm.
- [53] MUTUEL, Laurence H., Erwan PARICAUD a Pierre NERI. *Initial 4D Trajectory Management Concept Evaluation*. 2013. Dostupné také z: http://icrat.org/seminarContent/seminar10/papers/249-Mutuel_0126130707-Final-Paper-4-12-13.pdf.
- [54] New report acknowledges value of coordinating ATM modernization through SESAR deployment, yet advises financial review. *SESAR Deployment Manager* [online]. SESAR Deployment Manager, ©2020, 25.6.2019 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.sesardeploymentmanager.eu/new-report-acknowledges-value-of-coordinating-atm-modernization-through-sesar-deployment-yet-advises-financial-review/>.
- [55] *Official Journal of the European Union*, L96, Vol. 47, March 31, 2004.
- [56] ONNO. IFR Briefing: An Introduction to GNSS Approaches in Europe. *SkyRise* [online]. 18.5.2016 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://skyrise.aero/gnss-approaches/>.
- [57] *PBN Implementation Plan* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.icao.int/safety/pbn/PBNStatePlans/PBN%20IMPLEMENTATION%20PLAN.pdf>.
- [58] *PENS: PAN EUROPEAN NETWORK SERVICES* [online]. In.: Listopad 2013 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: https://www.icao.int/APAC/Meetings/2013%20CRVTF1/WP09_Denmark%20AI.3%20-%20PENS%20-%20An%20overview%20-%20boilerplate%20v1-5.pdf.
- [59] Performance Based Navigation (PBN). In: *SKYbrary* [online]. SKYbrary, 15.4.2019 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: [https://www.skybrary.aero/index.php/Performance_Based_Navigation_\(PBN\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Performance_Based_Navigation_(PBN)).
- [60] *PRECISION APPROACH RADAR (PAR-2020): Military Air Traffic Control Radar* [online]. Melbourne: L3Harris Technologies, 2020 [cit. 2020-4-19]. Dostupné z: <https://www.harris.com/sites/default/files/downloads/solutions/l3harris-precision-approach-radar-2020-sell-sheet-sas.pdf>.
- [61] *Principle of Avionics* [online]. 7th ed. Leesburg, USA: Avionics Communications Ins., 2012 [cit. 2020-04-25]. ISBN 978-1-885544-27-8. Dostupné z: https://books.google.cz/books/about/Principles_of_Avionics.html?id=0BI6ioB8kM8C&redir_esc=y.
- [62] QUESADA, E. R. *The United States short distance navigation system, its evolution and implementation plan through 1965*. Washington D. C.: Office of International Conferences, 1958. Dostupné také z: <https://books.google.cz/books?id=8kXw6nrXCMcC&lpg>.
- [63] Required Navigation Performance (RNP). In: *SKYbrary* [online]. SKYbrary, 15.4.2019 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: [https://www.skybrary.aero/index.php/Required_Navigation_Performance_\(RNP\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Required_Navigation_Performance_(RNP)).
- [64] Řízení letového provozu ČR. *Letecká informační služba* [online]. Jeneč: Řízení letového provozu ČR, s.p., ©2020 [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/?lang=cz&p=o-nas>.
- [65] S-AF6.1 — Initial trajectory information sharing (i4D). *EATM Portal* [online]. EUROCONTROL, ©2001-2020, 18.12.2019 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: https://www.atmmasterplan.eu/data/sub_afs/20427090.

- [66] SATCOM [online]. EUROCONTROL [cit. 2019-03-30]. <<https://www.skybrary.aero/index.php/SATCOM>>.
- [67] Satellite constellation. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 25.4.2020 [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Satellite_constellation>.
- [68] *SESAR Roadmap* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <<https://slideplayer.com/slide/14598801/>>.
- [69] SINGH, Arvind Kumar. *Global Global Air Traffic Management* [online]. In.: 22.9.2016, s. 32 [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <<https://www.slideshare.net/ArvindSingh121/global-global-air-traffic-management>>.
- [70] Single European Sky II. *European Commission* [online]. Brussels [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/transport/modes/air/single_european_sky/ses_2_en>.
- [71] *Single European Sky: a changed culture but not a single sky* [online]. No. 18. Luxembourg: Publications Office of the EU, ©2017 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR17_18/SR_SES_EN.pdf>.
- [72] *Solution PJ.11-A1: Enhanced Airborne Collision Avoidance for Commercial Air Transport normal operations - ACAS Xa. EATM Portal* [online]. EUROCONTROL, 2020, 18.12.2019 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.atmmasterplan.eu/data/sesar_solutions/20431807>.
- [73] STONE, John Stone. *Method of receiving space-telegraph signals*. United States. 767,972. Přihlášeno 10.9.1902. Uděleno 16.8.1904.
- [74] STROHMEIER, Martin. FIGURE 3: Assessing the Impact of Aviation Security on Cyber Power. In: *ResearchGate* [online]. © 2008-2020 ResearchGate [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/figure/TDoA-MULTILATERATION-THE-INTERSECTION-OF-HYPERBOLOIDS-1-3-CALCULATED-FROM-THE-FOUR_fig3_305719081/actions#reference>.
- [75] *Systém Galileo* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <<https://publi.cz/books/231/05.html>>.
- [76] Trajectory-Based Operations: # PJ.18-02a /Release 2019. *SESAR: Joint Undertaking* [online]. [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <<https://www.sesarju.eu/sesar-solutions/trajectory-based-operations>>.
- [77] Úřad pro civilní letectví. *Letecký předpis L10/I: O civilní letecké telekomunikační službě svazek I – Radionavigační prostředky* [online]. Uveřejněno pod č. j.: 1285/2003-220-SP/1. Praha: Ministerstvo dopravy ČR, 2000 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <<https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>>.
- [78] Úřad pro civilní letectví. *Letecký předpis L11: Letové provozní služby* [online]. Uveřejněno pod č. j.: 25345/99-220. Praha: Ministerstvo dopravy ČR, 2000 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <<https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>>.
- [79] Úřad pro civilní letectví. *Letecký předpis L12: Pátání a záchrana v civilním letectví* [online]. Uveřejněno pod č. j. 1249/2004-220-SP/1. Praha: Ministerstvo dopravy České republiky, 2004, 25.11.2004 [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: <<https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>>.
- [80] Úřad pro civilní letectví. *Letecký předpis L3: Meteorologie* [online]. Uveřejněno pod č. j. 584/2008-220-SP/4. Praha: Ministerstvo dopravy České republiky, 2008, 2.1.2020 [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: <<https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>>.
- [81] Validating the Interoperability of Ground-Based Augmentation Systems (GBAS). *EUROCONTROL* [online]. Brussels, 28.2.2008 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/eec/public/standard_page/EEC_News_2008_1_GBAS.html>.
- [82] VOJTEK, David. *Galileo: Globální navigační a polohové systémy* [online]. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Institut geoinformatiky, 2020 [cit. 2020-3-30]. Dostupné z: <https://geoinformatika-1.vsb.cz/vojtek/content/gnps/files/_prez/06/06_prezentace.pdf>.
- [83] What Is The Advantage Of Dual Frequency vs. Single Frequency GPS Receivers? In: *NovAtel Inc.* [online]. Calgary, Alberta, Canada [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <<http://www.sokkiatopcon.tw/NOVATEL/support/faqs.htm>>.
- [84] Why isn't an LPV SBAS approach considered a precision approach according to ICAO? *Aviation Stack Exchange* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <<https://aviation.stackexchange.com/questions/25735/why-isnt-an-lpv-sbas-approach-considered-a-precision-approach-according-to-icao>>.
- [85] WILFORD, John Noble. 50 Years Later, 'Blind' Flight Is Routine. *The New York Times* [online]. New York: The New York Times Company, ©2020, 25.9.1979 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: <<https://www.af.mil/About-Us/Biographies/Display/Article/107225/general-james-harold-doolittle/>>.
- [86] Источник: два спутника Galileo отправят на орбиту ракетой "Союз" [Zdroj: Dva satelity Galileo budou vyslány na oběžnou dráhu raketou Sojuz]. *RIA Novosti (v Rusku)* [online]. 31.3.2020 [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <<https://ria.ru/20200331/1569375023.html>>.

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam anglicky	Význam česky velkým?
3D	3 Dimensions	3 rozměry
4D	4 Dimensions	4 rozměry
AAIM	Aircraft Autonomous Integrity Monitoring	Autonomní monitorování integrity palubního přijímače GNSS
AAL	Augmented Approaches to Land	Pokročilé vedení na přistání
ACAS	Airborne Collision Avoidance System	Palubní protisrážkový systém
ADF	Automatic Direction Finder	Automatický radiokompas
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance – Broadcast	Automatické závislé sledování – rozhlasové
ADS-C	Automatic Dependent Surveillance – Contract	Automatické závislé sledování – kontrakt
AeroMACS	The Aeronautical Mobile Airport Communication System	Letištní mobilní komunikační systém
AIM	Aeronautical information management	Správa leteckých informací
AIS	Aeronautical information service	Letecké informační služby
aj.	And other	A jiné
AMAN	Arrival Manager	Správce přiletů
ANPT	Alternative Position, Navigation and Timing	Alternativní pozice, navigace a načasování
ANS	Air Navigation Services	Letecké navigační služby
ANSP	Air Navigation Services Provider	Poskytovatel leteckých navigačních služeb
apod.	And so on	a podobně
APV	Approach Procedure with Vertical guidance	Přiblížení s vertikálním vedením
ASM	Airspace Management	Management vzdušného prostoru
ASQF	Application Specific Qualification Facility	Pomocné zařízení pro validaci služeb
ATC	Air Traffic Control	Služba řízení letového provozu
ATCO	Air Traffic Controller	Řídící letového provozu
ATFM	Air Traffic Flown Management	Uspořádání toku letového provozu
ATM	Air Traffic Management	Uspořádání leteckého provozu
ATp	Airport and TMA performance	Výkon letiště a TMA
ATS	Air Traffic Services	Letové provozní služby
ATSAW	Airborne Traffic Situation Awareness	Povědomí o situaci ve vzdušném provozu
AUL	Average user location	Průměrná uživatelská poloha
AWA	Amalgamated Wireless (Australasia)	Výrobce elektroniky a provozovatel vysílání
BeiDou-3	BeiDou Navigation Satellite System	Navigační satelitní systém BeiDou
CAT	Precision instrument approach and landing category	Kategorie přesného přístrojového přiblížení a přistání

CDFA	Continuous Descent Final Approach	Kontinuální klesání konečného přiblížení
CFIT	Controlled Flight Into Terrain	Řízený let do terénu
CGS	Galileo Control Segment	Řídící segment systému Galileo
Cm	Centimeter	Centimetr
CNS	Communication, Navigation and Surveillance	Komunikace, navigace a dohled
COM/NAV	Communication/Navigation	Komunikace/Navigace
COVID-19	Coronavirus disease 2019	Onemocnění koronavirus 2019
CPDLC	Controller-Pilot Datalink Communications	Data-linková komunikace mezi řídicím a pilotem
CTA	Controlled Time of Arrival	Řízený čas přiletu
CVOR	Convictional VHF Omni-directional Range	Konvenční VKV všesměrový radiomaják
DA	Decision Altitude	Nadmořská výška rozhodnutí
dA	Fully dynamic and optimised airspace	Plně dynamický a optimalizovaný vzdušný prostor
DF	Dual-Frequency	Duální frekvence
DH	Decision Height	Výška rozhodnutí nad zemským povrchem
DME	Distance Measuring Equipment	Dálkoměrné zařízení
DME/N	Distance Measuring Equipment/Narrow	Dálkoměrné zařízení s úzkým svazkem
DME/P	Distance Measuring Equipment/Precision	Dálkoměrné zařízení vhodné pro vedení při přiblížení a přistání
dS	Digital AIM and MET services	Digitální AIM a MET služby
DSTs	Decision Support Tools	Nástroje k podpoře rozhodování
DVOR	Doppler VHF Omni-directional Range	VKV všesměrový radiomaják fungující na principu Dopplerova jevu
ECA	European Court of Auditors	Evropský účetní dvůr
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service	Evropská geostacionární navigační překryvná služba
EOCs	Essential operation changes	Základní provozní změny
ESA	European Space Agency	Evropská vesmírná agentura
EU	European Union	Evropská Unie
EUR	European Region	Evropský region
EWAN	EGNOS Wide Area Network	Síť, propojující veškeré komponenty pozemního segmentu EGNOS
FAA	Federal Aviation Administration	Federální letecká správa
FAB	Functional Airspace Blocks	Funkční vzdušné bloky
FCI	Future Communications Infrastructure	Budoucí komunikační infrastruktura
FMS	Flight Management System	Systém řízení letu
FOC	Full Operational Capability	Plně provozní schopnost
FRA	Free Route Airspace	Vzdušný prostor volných tratí

ft	Feet	Stopy
GAGAN	GPS-aided GEO augmented navigation	Rozšiřující družicový geolokační systém provozovaný vládou Indie
GAST A-F	GBAS Approach Service Type	Služba GBAS přiblížení typu A-F
GBAS	Ground-Based Augmentation System	Systém pozemních referenčních stanic
GCA	Ground-Controlled Approach	Pozemně řízené přiblížení
GCC	Galileo Control Centres	Řídící střediska Galileo
GEO	Geostacionary satellite	Geostacionární družice
GLONASS	Global Navigation Satellite System	Ruský globální družicový navigační systém
GLS	GBAS Landing System	GBAS přistávací systém
GMS	Galileo Mission System	Řídící systém pozemního segmentu Galileo
GNSS	Global Navigation Satellite System	Globalní navigační družicový systém
GPS	Global Positioning System	Globalní polohovací systém
GSS	Galileo Sensor Stations	Senzorové stanice Galileo
HF	High frequency	Vysoké frekvence
HF/DF	High-frequency direction finding	Vysoko frekvenční vyhledávač směru
I-4D	Initial – 4 Dimensions	Počáteční fáze implementace 4 rozměrových trajektorií
IAF	Initial Approach Fix	Bod počátku počátečního segmentu přístrojového přiblížení
ICAO	International Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
IFF	Identification Friend or Foe	Identifikace přítel nebo nepřítel
IFR	Instrument Flight Rules	Pravidla letu podle přístrojů
ILS	Instrument Landing System	Přístrojový přistávací systém
iN	ATM inteconnected network	Propojená síť ATM
INS	Inertial Navigation System	Inerciální navigační systém
IRS	Inertial Reference System	Inerciální referenční systém
Kbit/s	Kilobit per second	Kilobit za sekundu
kHz	Kilohertz	Kilohertz
km	Kilometer	Kilometr
LDACS	L-band Digital Aeronautical Communications System	Digitální letecký komunikační systém pracující v pásmu L frekvencí
LF/MF	Low frequency/Middle frequency	Nízké frekvence/střední frekvence
LLZ	Localizer	Lokalizátor
LNAV	Lateral Navigation	Postranní navigace
LPV	Localizer Performance with Vertical guidance	Výkon radiomajáku s vertikálním vedením
LRF	LF/MF Four Course Radio Range	LF/MF radiomaják poskytující čtyři kurzy pro vedení
Ltd.	Limited company	Společnost s ručením omezeným

m	Meter	Metr
M ³	Multimodal mobility and integration of all airspace users	Multimodální mobilita a integrace všech uživatelů vzdušného prostoru
Mbit/s	Megabit per second	Megabit za sekundu
MC	Multi-Constellation	Multi-konstelační
MCC	Master Control Center	Kontrolní a zpracovatelské středisko
MDA	Minimum Descent Altitude	Minimální nadmořská výška klesání
MDH	Minimum Descent Height	Minimální výška nad zemským povrchem klesání
MET	Meteorology	Meteorologické služby pro leteckou navigaci
MHz	Megahertz	Megahertz
MICONAV	Migration towards Integrated COM/NAV Avionics	Výzkumný projekt k vývoji leteckých komunikačních a navigačních technologií
MLS	Microwave Landing System	Mikrovlnný přistávací systém
MON	Minimum Operational Network	Minimální operační síť
MPL	Minimum Performance Levels	Minimální úroveň výkonnosti
MSAS	Multi-functional Satellite Augmentation System	Japonský družicový rozšiřující systém
MUAC	Maastricht Upper Area Control Center	Řídící středisko horní maastrichtské oblasti
např.	For example	Například
NAVAID	Navigation Aid	Navigační prostředek
NDB	Non Directional Beacon	Nesměrový radiomaják
NewPENS	New Pan European Network Service	Nová celoevropská síťová služba
NextGen	Next Generation Air Transportation System	Letecký dopravní systém nové generace (obdoba SESAR v USA)
NIL	No Item Listed / Nothing	Není uvedena žádná položka / nic
NLES	Navigation Land Earth Stations	Navigační pozemní stanice systému EGNOS
NOTAM	Notice To Airman	Krátká zpráva užívána ke sdělení informací o letištích, vzdušných prostorech nebo navigačních prostředcích
NPA	Non Precision Approach	Nepřesná přiblížení
OS	Open Services	Veřejná služba Galileo
OTF	On-The-Fly	Možnost provádění změn za letu
PA	Precision Approach	Přesné přiblížení
PACF	Performance Assessment and Checkout Facility	Podpůrné zařízení pro tvorbu analýz
PAR	Precision Approach Radar	Radar pro přesná přiblížení
PBN	Performance Based Navigaton	Navigace založená na výkonosti
PCP	Pilot Common Project	Pilotní společný projekt
PDOP	Position (3D) Dilution of Precision	Parametr přesnosti polohy

PENS	Pan European Network Service	Celoevropská síťová služba
PRS	Public Regulated Services	Veřejné regulované služby
QDM	Magnetic bearing to a station	Magnetický směrnik ke stanici
R&D	Research and Development	Výzkum a vývoj
RBT	Reference Business Trajectory	Referenční obchodní trajektorie
RDF	Radio Direction Finder	Rádiový vyhledávač směru
RIMS	Ranging Integrity Monitoring Stations	Stanice pro sledování integrity
RNAV	Area Navigation	Oblastní navigace
RNP	Required Navigation Performance	Požadovaná navigační výkonnost
RNP APCH	RNP approach procedure	Postupy pro RNP přiblížení
RTA	Required Time of Arrival	Požadovaný čas příletu
RWY	Runway	Dráha
SAR	Search and Rescue	Služba vyhledání a záchrany
SATCOM	Satellite Communication Datalink	Satelitní komunikační data-link
SBAS	Satellite Based Augmentation System	Satelitní rozšiřující systém
SES	Single European Sky	Jednotné evropské nebe
SESAR	Single European Sky ATM Research	Výzkum v oblasti ATM pro Jednotné evropské nebe
SF	Single-frequency	Jednofrekvenční
SID	Standard Instrument Departure	Standardní přístrojový odlet
SIS	Signal-In-Space	Signál ve vesmíru
SSR	Secondary Surveillance Radar	Sekundární přehledový radar
STAR	Standard Arrival Route	Standardní příletová trať
SUR	Surveillance	Dohled
SWIM	System-Wide Information Management	Systém správy informací
TBO	Trajectory Based Operation	Provoz založen na trajektorii
TCAS	Traffic Collision Avoidance System	Palubní proti-srážkový systém
TDoA	Time Difference of Arrival	Časový rozdíl příchodu signálu
TMA	Terminal Control Area	Koncová řízená oblast
TT&C	Telemetry, Tracking and Control	Telemetrie, sledování a řízení
tzv.	So-called	Takzvaný
UHF	Ultra High Frequency	Ultra vysoké frekvence
ULS	Galileo Uplink Stations	Stanice vysílající navigační zprávy
U-s	U-space services	Služby, umožňující přístup dronů do vzdušného prostoru
USA	United States of America	Spojené státy americké
VDF	VHF Direction Finder	VKV vyhledávač směru
VDL 2	VHF Data Link Mode 2	VKV data-link módu 2
VHF	Very High Frequency	Velmi vysoké frekvence
VKV	Very short waves	Velmi krátké vlny
VNAV	Vertical Navigation	Vertikální navigace
VOR	VHF Omni-directional range	VKV všesměrový radiomaják
vS	Virtualisation of service provision	Virtualizace poskytování služeb

WAAS	Wide Area Augmentation System	Americký družicový rozšiřující systém
WAM	Wide-Area Multilateration	Široko-oblastní mnohostranná přehledová technika
WUL	Worst user location	Nejhorší uživatelská poloha

Seznam obrázků

Obrázek 1: Kokpit s panelem přístrojů letounu NY-2 Husky [27].....	17
Obrázek 2: Klasifikace druhů přiblížení podle ICAO [84].....	17
Obrázek 3: Navigační specifikace dle fází letu [56].....	18
Obrázek 4: Postup CDFA (červeně) [14]	18
Obrázek 5: ILS, MLS a GBAS přiblížení pro více RWY jednoho letiště [81]	21
Obrázek 6: Počet IFR letů v Evropě mezi roky 1960-2010 s předpokládaným růstem do roku 2030 [51]	22
Obrázek 7: Počet ročních IFR letů v tisících s průměrnou dobou zpoždění v minutách pro každý let [71]	23
Obrázek 8: Původní časový rozvrh definiční, vývojové a zaváděcí fáze SES [68].....	24
Obrázek 9: Základní provozní změny definované v ATM Master Plan 2020 [23]	25
Obrázek 10: Návrh proměny CNS podle ATM Master Plan 2020 [23]	26
Obrázek 11: Schéma multi-linku PENS propojeného sítí SWIM [58].....	28
Obrázek 12: Scénář modernizace navigační infrastruktury dle ATM Master Plan 2020 [23]	29
Obrázek 13: Schéma systému EGNOS [3]	30
Obrázek 14: Monitorovací stanice systému Galileo [75]	32
Obrázek 15: Předpokládaná dostupnost (vlevo) a přesnost 3D polohy (vpravo) po dosažení FOC [24].....	33
Obrázek 16: TDoA multilaterace – průsečík hyperboloidů 1-3 vypočítaný ze čtyř přijímačů A-D odhaluje místo vzniku signálů [74].....	35
Obrázek 17: Vývoj ATS tratí od konvenčních tratí nalevo přes RNAV tratě až k RNP tratím [57].....	37
Obrázek 18: Koncepce vzdušného prostoru založeném na výkonnosti [38]	37
Obrázek 19: Rozdíl mezi ATS tratěmi po "waypointech" (vlevo) a tratěmi v rámci FRA (vpravo) [46]	39
Obrázek 20: Schéma i4D přiblížení [69]	40
Obrázek 21: Změna vertikálních profilů klesání k dodržení RTA nad měřeným bodem [11]	40

Seznam tabulek

Tabulka 1: ICAO kritéria pro kategorie přiblížení [77].....	19
---	----

Seznam příloh

Příloha 1: Klíčové oblasti zájmu podniku SESAR spolu s vytýčenými cíly pro implementaci SES [23]	57
Příloha 2: Mapa standartního přístrojové přiletu pro dráhu 24 letiště Praha Ruzyně podle postupů ILS (vlevo) a RNP (vpravo) [42]	58
Příloha 3: Podmínky a omezení uživatele odpovídající MPL dostupnosti poziční služby Galileo pro AUL (vlevo) a WUL (vpravo) [24]	58

Příloha 1: Klíčové oblasti zájmu podniku SESAR spolu s vytyčenými cíly pro implementaci SES [23]

Key performance area	SES high-level goals 2005	Key performance indicator	Performance ambition vs. baseline			
			Baseline value (2012)	Ambition value (2035)	Absolute improvement	Relative improvement
 Capacity	Enable 3-fold increase in ATM capacity	Departure delay ¹ , min/dep	9.5 min	6.5-8.5 min	1-3 min	10-30%
		IFR movements at most congested airports ² , million	4 million	4.2-4.4 million	0.2-0.4 million	5-10%
		Network throughput IFR flights ³ , million	9.7 million	-15.7 million	-6.0 million	-60%
		Network throughput IFR flight hours ³ , million	15.2 million	-26.7 million	-11.5 million	-75%
 Cost efficiency	Reduced ATM services unit costs by 50% or more	Gate-to-gate direct ANS cost per flight ¹ · EUR(2012)	EUR 960	EUR 580-670	EUR 290-380	30-40%
		Gate-to-gate fuel burn per flight ² , kg/flight	5280 kg	4780-5030 kg	250-500 kg	5-10%
 Operational efficiency		Additional gate-to-gate flight time per flight, min/flight	8.2 min	3.7-4.1 min	4.1-4.5 min	50-55%
		Within the: Gate-to-gate flight time per flight ³ , min/flight	(111 min)	(116 min)		
		Gate-to-gate CO ₂ emissions, tonnes/flight	16.6 tonnes	15-15.8 tonnes	0.8-1.6 tonnes	5-10%
 Environment	Enable 10% reduction in the effects flights have on the environment	Accidents with direct ATM contribution ⁴ , #/year	0.7 (long-term average)	no ATM related accidents	0.7	100%
		ATM related security incidents resulting in traffic disruptions	unknown	no significant disruption due to cyber-security vulnerabilities	unknown	-
 Security	Improve safety by factor 10					

1 Unit rate savings will be larger because the average number of Service Units per flight continues to increase.

2 "Additional" means the average flight time extension caused by ATM inefficiencies.

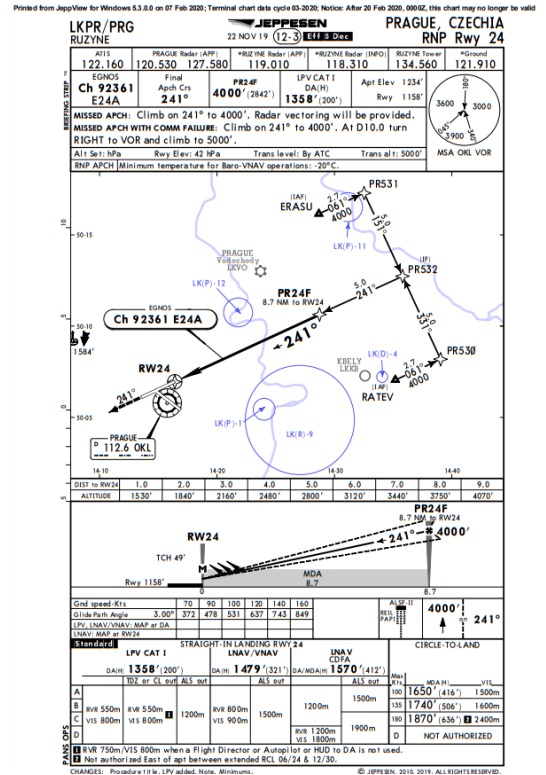
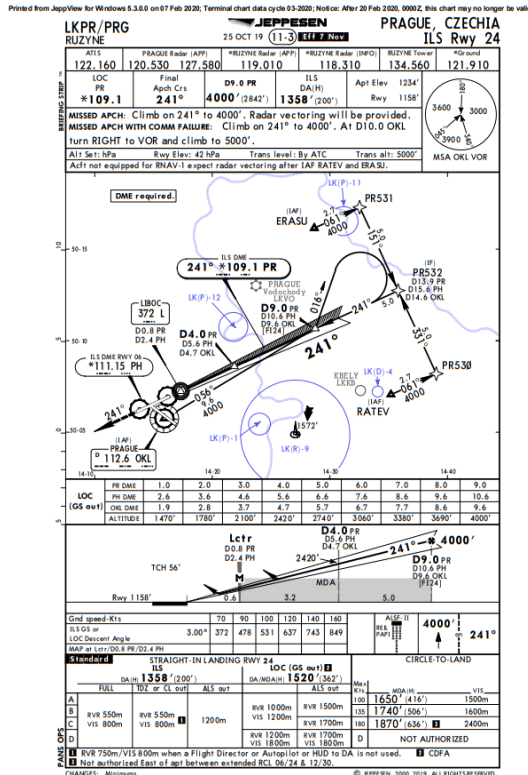
3 Average flight time increases because the number of long-distance flights is forecast to grow faster than the number of short-distance flights.

4 All primary and secondary (reactionary) delay, including ATM and non-ATM causes.

5 Includes all non-segregated unmanned traffic flying IFR, but not the drone traffic flying in airspace below 500 feet or the new entrants flying above FL 600

6 In accordance with the PRR definition: where at least one ATM event or item was judged to be DIRECTLY in the causal chain of events leading to the accident. Without that ATM event, it is considered that the accident would not have happened.

Príloha 2: Mapa standartního přístrojové přiletu pro dráhu 24 letiště Praha Ruzyně podle postupů ILS (vlevo) a RNP (vpravo) [42]



Príloha 3: Podmínky a omezení uživatele odpovídající MPL dostupnosti poziční služby Galileo pro AUL (vlevo) a WUL (vpravo) [24]

MPL OF THE AVAILABILITY OF THE POSITIONING SERVICE	CONDITIONS AND CONSTRAINTS
<p>For each SF:</p> <ul style="list-style-type: none"> ≥ 77% at average user location 	<ul style="list-style-type: none"> With a horizontal positioning accuracy better than 7.5 m (95%) With a vertical positioning accuracy better than 15 m (95%) At least 4 satellites in view above a minimum elevation of 5 degrees Calculated over a period of 30 days Including planned and unplanned outages Including Broadcast Group Delay errors Propagation and user contributions excluded Neglecting single frequency ionospheric delay model errors¹³
<p>For each DF:</p> <ul style="list-style-type: none"> ≥ 77% at average user location 	<ul style="list-style-type: none"> With a horizontal positioning accuracy better than 7.5 m (95%) With a vertical positioning accuracy better than 15 m (95%) At least 4 satellites in view above a minimum elevation of 5 degrees Calculated over a period of 30 days Including planned and unplanned outages Propagation and user contributions excluded

Table 16. MPL of the Availability of the Galileo Positioning service, at average user location.

MPL OF THE AVAILABILITY OF THE POSITIONING SERVICE	CONDITIONS AND CONSTRAINTS
<p>For each SF:</p> <ul style="list-style-type: none"> ≥ 70% at worst user location 	<ul style="list-style-type: none"> With a horizontal positioning accuracy better than 7.5 m (95%) With a vertical positioning accuracy better than 15 m (95%) At least 4 satellites in view above a minimum elevation of 5 degrees Calculated over a period of 30 days Including planned and unplanned outages Including Broadcast Group Delay errors Propagation and user contributions excluded Neglecting single frequency ionospheric delay model errors¹⁴
<p>For each DF:</p> <ul style="list-style-type: none"> ≥ 70% at worst user location 	<ul style="list-style-type: none"> With a horizontal positioning accuracy better than 7.5 m (95%) With a vertical positioning accuracy better than 15 m (95%) At least 4 satellites in view above a minimum elevation of 5 degrees Calculated over a period of 30 days Including planned and unplanned outages Propagation and user contributions excluded

Table 17. MPL of the Availability of the Galileo Positioning service, at worst user location.