



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

MOŽNOSTI VYUŽITÍ ADS-B PRO ŘÍZENÍ PROVOZU V CTR A PO PLOŠE

ADS-B AND POSSIBILITIES OF ITS EXPLOITATION FOR THE CONTROL OF AIRCRAFT
MOVEMENT WITHIN CTR AS WELL AS ALONG THE AERODROME SURFACE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ing. KAMILA ŠÍBLOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. SLAVOMÍR VOSECKÝ, CSc.

ZADÁNÍ

ABSTRAKT

Diplomová práce pojednává o systému ADS-B a jeho možném využití na Letišti Václava Havla Praha. V úvodu práce je popsána historie vedoucí k zavedení tohoto systému a následně systém ADS-B objasněn. V práci je uveden také časový harmonogram zavedení systému. Následně je uvedena aplikace na daném letišti s ověřování integrity, funkčnosti, spolehlivosti a bezpečnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

ADS, ADS-B, Navigace, Radionavigace, CNS, Sekundární přehledový radar, Systém závislého přehledu, Multilaterace, CTR, TMA

ABSTRACT

Diploma thesis deals with the ADS-B system and its possible use at the Airport Václav Havel in Prague. In the beginning of this thesis there is described the history leading to the introduction of this system and then the ADS-B is explained. In this thesis is also included a schedule for the introduction of the system. Then the application is presented to the airport with integrity verification, functionality, reliability and safety.

KEY WORDS

ADS, ADS-B, Navigation, Radionavigation, CNS, Secondary surveillance radar, Dependent surveillance system Multilateration, CTR, TMA

ŠÍBLOVÁ, K. *Možnosti využití ADS-B pro řízení provozu v CTR a po ploše*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 75 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Slavomír Vosecký, CSc..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Možnosti využití ADS-B pro řízení provozu v CTR a po ploše* vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce a pod odborným dohledem doc. Ing. Slavomíra Voseckého, CSc..

V Brně dne:

.....

Kamila Šíblová

PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych tímto poděkovat doc. Ing. Slavomíru Voseckému, CSc. za odborné vedení a připomínky, které mi pomohly při vypracování této diplomové práce.

OBSAH

Úvod	15
1. Historie a vývoj	17
1.1. Počátky vývoje navigace	17
1.2. Možnosti CNS	23
1.2.1. Vizuální navigace	23
1.2.2. Astronomická navigace	23
1.2.3. Navigace výpočtem	23
1.2.4. Radionavigace	24
2. Moderní metody a technologie navigace	25
2.1. Inerciální navigace (INS/IRS)	25
2.2. Navigace umělými družicemi země (GNSS)	25
2.3. Technologie RNAV	26
2.3.1. Úrovně RNAV	27
2.3.2. Typy RNAV	30
2.4. Definování RNP	30
2.5. Koncept PBN	32
2.5.1. Navigační aplikace	32
2.5.2. Navigační specifikace	33
2.5.3. Navigační infrastruktura	33
3. Definice ADS	35
3.1. ADS-B	36
3.1.1. Počátky vzniku	36
3.1.2. Představení ADS-B	36
3.1.3. Formát ASTERIX	38
3.1.4. Datové kanály	40
3.1.5. Palubní vybavení ADS-B	44
3.1.6. ADS-B & WAM	45
3.1.7. Výhody a nevýhody	46
3.2. ADS-C	47
3.3. TIS-B a FIS-B	48
3.4. Shrnutí kapitoly	49
4. Možnosti využití ADS-B	51
4.1. Časový harmonogram ADS-B	51
4.2. Klasické řízení letového provozu v CTR a po ploše	52
4.2.1. Vzdušný prostor ČR	52
4.2.2. Klasické řízení letového provozu v CTR a TMA	53
4.2.3. Klasické řízení po letištních plochách	58
4.3. Řízení letového provozu s využitím ADS-B jako doplňku	61
4.4. Řízení letového provozu výhradně pomocí ADS-B	66
4.5. ADS-B k řízení mobilních prostředků po letištních plochách	67
4.6. Shrnutí kapitoly	70
5. Cenové srovnání ADS-B s konvenčními systémy	73
6. Závěr	75
7. Použité zdroje	77
7.1. Použitá literatura	77
7.2. Použité internetové zdroje	78
8. Seznam použitých zkratk	81
9. Seznam použitých obrázků a tabulek	85
10. Seznam příloh	87

Úvod

Cílem diplomové práce je podat komplexní náhled na obsáhlou problematiku zabývající se zaváděním inovativní technologie ADS-B. V současné době je tato technologie na území České republiky v procesu testování a zavádění do leteckého provozu. Celý tento proces probíhá již několik let. Vzhledem ke komplikacím spojeným s plnohodnotným zaváděním se systém ADS-B na našem území v tuto chvíli samostatně nevyužívá.

Nedílnou součástí pro celkový reálný náhled do této problematiky je také zpracování historického vývoje a s tím související důsledky pro vznik technologie ADS-B. Jelikož je celý systém ADS-B velice komplikovaný, je nutné uvést pro jeho celkové objasnění a nezkreslený přehled již prvotní a existující systémy. Kromě historického vývoje od prvopočátku letectví, se práce bude zabývat i metodami a technologiemi v dnešní době hojně využívanými. Na těchto dnes běžně využívaných metodách a technologiích bude ukázán technologický pokrok, který bude směřovat k samotnému ADS-B a jeho možného samostatného využití v budoucnu. Při plošném zavedení tohoto systému nedojde pouze k pokroku v technologii, ale také ke značným ekonomickým úsporám.

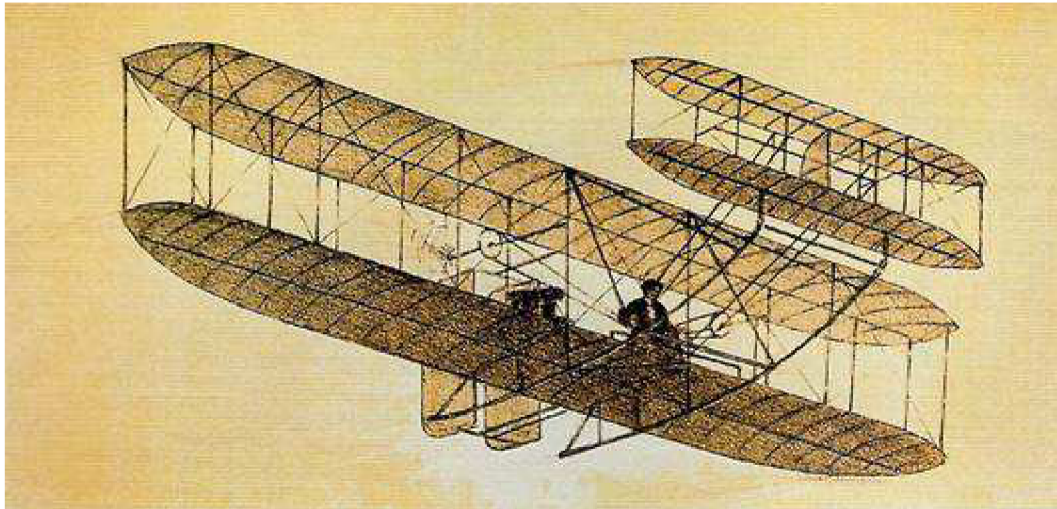
Z výše uvedených aspektů je zřejmé, že jako jedna z nedílných součástí diplomové práce bude uvedena obecná problematika ADS pro následné rozšíření na ADS-B. Celá problematika ADS je velice obsáhlá, proto každému dotčenému úseku bude věnována část práce. Bude se jednat zejména o zaměření na části ADS-B, jeho používané datové kanály, používaný formát, zástavba na palubě letounu a také možné přenášené meteorologické a dopravní informace. Další nedílnou součástí práce bude také shrnutí všech získaných poznatků o samotné technologii ADS-B.

Jelikož je tento systém nutné optimalizovat pro konkrétní letiště, bylo potřebné zvolit letiště k jeho konkrétní aplikaci. Vzhledem k rozsáhlým možnostem využití této technologie jsem zvolila největší mezinárodní letiště České republiky, a to letiště Václava Havla Praha. Je tedy zřejmé, že bude nutné popsat dosavadní situaci v oblasti řízení letového provozu na tomto letišti. Následně bude technologie ADS-B aplikována společně s konvekčními technologiemi používanými na zvoleném letišti. Tato aplikace bude ověřována v pohledu integrity, funkčnosti, spolehlivosti a především bezpečnosti leteckého provozu. Při ověřování bude také brán velký zřetel na ekonomické aspekty.

1. Historie a vývoj

1.1. Počátky vývoje navigace

Již od počátků letectví v roce 1903, kdy bratři Wrightové vzletly s prvním letadlem jež mělo vlastní pohon, bylo zapotřebí položit a vyřešit zásadní otázku „kde se letadlo s posádkou ve vzdušném prostoru nachází a kde se také nacházejí vůči nim ostatní letadla v daném časovém okamžiku“.



Obr. 1: Letoun bratrů Wrightových

Řešení této důležité otázky skrývá zkratka tzv. CNS. Tato zkratka z anglického slova Communication, Navigation, Surveillance v překladu znamená Komunikace, Navigace, Přehled. Z prvopočátku se tento nelehký úkol zdál být triviálním. Pilotovi pouze stačilo shlédnout zrakem na zem a před sebe do prostoru, zda nevidí překážku. Takto se ale dalo pracovat pouze do té doby, dokud letecký provoz byl málo frekventovaný a letadla se pohybovaly v nízkých výškách nad povrchem země a poněkud malou rychlostí. Ovšem s postupem času se letadla dostávala výše, jak už s dostupem, tak i se svojí rychlostí letu. Nezůstávalo pouze u těchto skutečností, ale letadla dokázala nést jak náklad, tak i pasažéry. Tudiž pouhá touha odvážlivce létat si pro zábavu se již změnila na výdělečnou možnost s vysokým budoucím potenciálem.

Pojem navigace sám o sobě pojednává o vedení určitého tělesa z jednoho zvoleného bodu do druhého. Lépe řečeno, jedná se o bezpečné vedení letadla po stanovené dráze ve všech fázích jeho pohybu, za veškerých povětrnostních podmínek, ve dne i v noci, v určitém čase nebo způsobem vhodným pro splnění daného úkolu.

První možnost jakékoliv navigace tedy spočívala ve *vizuální navigaci*. Na palubě letadla tento způsob obnášel mapu a další pomůcky jako např. kompas, pravítko a další. Pilot musel neustále porovnávat s mapou terén, který viděl pod a před sebou. K vzájemnému vyhýbání se letadel docházelo podle předem daných a naučených pravidel. Pilot se také orientoval na letišti pomocí vizuálních značek umístěných na letišti. V případě pozemní navigace se jednalo o vizuální signály. Tyto zmíněné vizuální signály vydávala osoba na zemi zodpovědná za řízení letového provozu. Dávala pokyny vizuálně za pomoci vlajky. Tento jednoduchý a snadný princip navigace a řízení letového provozu se např. u malých sportovních letadel případně padáků, rogal nebo v horším případě, když vypadnou elektrické systémy, používá dodnes.

V pohledu tedy na pozemní infrastrukturu zařízení potřebných k navigaci letadla v těchto počátcích na ně nebyl kladen žádný extrémní důraz. Pojem dnešní doby řídicí letového provozu nebyl poněkud na místě, jelikož nešlo striktně o řízení letu, ale spíše o sledování letadla ve vzdušném prostoru a možnou navigační pomoci ve formě vizuálního kontaktu. Na letišti se nacházely prostředky jako značky, signály a terče poskytující pilotovi základní informace týkající se směru vzletu a přistání, schopnosti letiště, o používaných drahách atd. Dalším vybavením byl dnes běžně využívaný větrný rukáv k potřebám určit směr a rychlost větru. Jako další se používaly praporky, světlometky atd. Následně se začala trať letu vybavovat světelnými otočnými majáky, jež pilotovi umožňovaly mnohem lepší orientaci v prostoru při nižších dohlednostech a především v noci.

Nebylo tomu příliš dlouho, co tento druh navigace, tedy vizuální navigace, přestala dostačovat. Začala létat letadla s vyššími dostupnými rychlostmi a začalo jich létat mnohonásobně více. Tedy prostor se začal letadly zahušťovat. Také co se týče zhoršených povětrnostních podmínek a dohlednosti tento druh navigace nedostačoval. Z těchto důvodů a také především z důvodu bezpečnosti a pravidelnosti letů bylo potřebné najít lepší a efektivnější způsob řízení letového provozu a s tím spojené navigace. Proto se začaly konstruovat první radionavigační prostředky s natáčivými ručními anténami. Poprvé se začaly využívat ve 30. letech 20. století. Osvědčili se i při přistáních za špatných povětrnostních podmínek a nízké dohlednosti. Obrovský rozvoj radionavigace byl v období druhé světové války, kdy se již nejedná o vizuální navigaci, ale navigaci za pomoci rádiových přístrojů.

Jako první přichází radionavigační zařízení **VDF**, neboli **pozemní radiový zaměřovač**. Jedná se, jak sám název napovídá, o pozemní zařízení používané letovými provozními službami (ATS). Složení antény sestává ze všesměrové antény, sloužící pro příjem informací z paluby letadla a dvou na sebe kolmých antén typu „H“ (antény typu Adcock). Zaměřovač pracuje v pásmu VKV (velmi krátkých vln) a slouží k zaměření a určení směru letadla. Letadlo má tedy na palubě radiový vysílač. Jakmile vyšle palubní radiový vysílač signál, přijímač jej přijme, zpracuje a na obrazovce VDF se ukáže paprsek směřující od středu indikátoru po jeho okraj. Směr pak ukazuje hodnotu QDR (magnetický směrník letadla), která slouží řídicímu letového provozu k určení polohy letadla ve vzdušném prostoru. Zařízení VDF pracuje v pásmu 118–137 MHz a zaměření letadla používá tzv. křížové zaměření dvěma zaměřovači. Dosahy zaměřovače jsou odvislé od šíření signálu a odpovídá především radiovému dosahu palubního vysílače. Dosahy vysílače jsou ovlivňovány nerovností terénu, výkonností vysílače a důležitá je hlavně citlivost přijímače VDF. Ovšem v dnešní době je využíván spíše jako záložní popřípadě pomocný prostředek umístěný v blízkosti letišť a stanovišť Řízení letového provozu (ATC).

Jako další z významných přístrojů přichází dvojice **ADF-NDB**. Kde ADF je přijímač elektromagnetických vln a nachází se na palubě letadla. Naopak NDB je pozemní vysílač elektromagnetických vln v pásmu DV a SV (dlouhých vln a středních vln). Signály vysílá ve vertikálním směru v podobě zmíněných elektromagnetických vln přes rámovou anténu s unipólem umístěnou na zemi. Signály jsou tvaru tzv. kardioidy. ADF měří úhel zaměření k NDB, tzv. RB nebo-li kurzový úhel radiostanice. Počátek úhlu zaměření se nachází v podélné ose letadla. NDB-ADF slouží především k nepřesnému přístrojovému přiblížení. Tato dvojice pracuje v pásmu 190–1750 kHz, ovšem pro civilní leteckou dopravu se využívá pouze část z tohoto rozsahu, a to 200–450 kHz. Signál od NDB se šíří povrchovou vlnou a maják se zřizuje především na letových cestách nebo v blízkosti letišť. U dvojice ADF-NDB se objevuje negativní jev v podobě nočního jevu snižující přesnost zaměření a je tedy příčinou noční chyby. Tato chyba vzniká v průběhu noci v důsledku mizení spodní vrstvy ionosféry. Tento fakt vede k možnosti změny intenzity i polarizace přicházející vlny. Vlna přicházející k anténě ADF sestává nejen z povrchové vlny od NDB, ale navíc i prostorové vlny odražené

od ionosféry. Během letu se tedy na anténě magnetické vektory těchto vln skládají a výsledná intenzita vstupního signálu se mění. Samotný přístroj NDB lze použít jako traťový pro navádění letadla k letišti, pro vyčkávání a pro navigaci v letových cestách a po trati. Jeho další využití je jako Locator s nízkým výkonem pro přiblížení na přistání. NDB bohužel sebou nese i spoustu komplikací v podobě tzv. *hluchého kužele* rozpínajícího se nad přístroje. Průměr kužele se se zvyšující výškou rozpíná. Dalším negativním účinkem je, že šíření povrchovou vlnou bohužel neodolává horkým terénům. Tedy pokrytí signálem je v horských oblastech díky odrazu a deformaci špatné. Signál je deformován i v oblasti pobřeží a tyto fakty vedou ke špatnému určení a navedení letadel.



Obr. 2: NDB ^[12]

Dále se objevuje přístroj **VOR**, což je VKV všesměrově vyzařující maják. Vyzařující maják je úhломěrný prostředek, jež umožňuje palubním přijímačům měřit tzv. radiály, tedy směry ortodromických spojnic VOR-letadlo (QDR). Pracuje v pásmu 108,0–117,95 MHz rozprostírající se na 116–*ti* možných kanálech. Z velké části se v tomto pásmu dělí s přesným přibližovacím přístrojem na přistání tzv. ILS. Zařízení VOR vysílá referenční neboli opěrný signál a směrový signál. Na palubě letadla se pak měří fázový posun mezi těmito dvěma signály. Výsledkem je již zmíněné QDR, které číselně odpovídá magnetickému směrníku letadla vzhledem k majáku. Pozemní vysílač sestává z všesměrové antény, které vysílá referenční signál a ze dvou dvojic dipólů jež vysílají směrové vyzařující diagramy (SVD) tvaru cosinus. Následné zařízení pro příjem signálu na palubě letadla obsahuje vertikální popřípadě nožovou anténu, přijímač a indikátor VOR/ILS zobrazující tzv. QDM, tedy magnetický směr uživatel – VOR (magnetický kurs).

VOR lze řadit do leteckých zařízení pro navigaci na malé vzdálenosti, čímž je myšlen dosah do 200 NM (Námořní míle) od pozemního zařízení. Lze jej použít pro široké spektrum možností od navigace po trati letu, přes označení počátku, konce a středu letové cesty až po navigaci při sestupu k letišti nebo k vyznačení vyčkávacího prostoru použitelného před zahájením přistání. Jeho umístění je nachází buď v letové cestě, kde se využívá pro všeobecnou navigaci nebo v blízkosti RWY (dráhy), kde slouží pro přiblížování k letišti a označuje se jako TVOR. Ovšem typů zařízení VOR je několik a liší se mezi sebou v principu jejich činnosti a možnosti vysílání. Mezi první patří CVOR, tedy klasický, konvenční VOR. Tento typ byl ale shledán nevyhovujícím pro moderní způsoby navigace. Dalším je např. DVOR, což je dalo by se říci druhá generace VOR, která dosahuje menších chyb než jeho předchůdce. DVOR tedy VOR využívající Dopplerova jevu. Má výrazně vyšší

přesnost zaměření a je méně závislý na terénu ve svém okolí. Mezi další lze řadit např. BVOR, vysílající informace o povětrnosti a o letišti, AFISVOR vysílající ATIS zprávy a další.



Obr. 3: DVOR^[11]

Dále se objevuje radionavigační prostředek **ILS**, který slouží pro přesné přiblížení podle přístrojů. Jeho úkolem je navést letadlo vertikálně i horizontálně do blízkosti RWY, kde pilot může dokončit přistání ručně za podmínek viditelnosti popřípadě za pomoci automatiky. Je tedy zřejmé, že zařízení ILS umožňuje přehledně vytvořit sestupovou a kurzovou rovinu a společně s tím předávat potřebnou informaci o přeletu nad danými body. Skládá se ze 3 spolupracujících majáků.

Prvním je *VKV kurzový maják* tzv. *Localizer*, který pracuje v pásmu 108–111,975 MHz v němž se o kanály, jak již bylo zmíněno, dělí se zařízením VOR. Pracuje na 40–ti kanálech dělených po 50–ti Hz. Má za úkol navést letadlo v horizontálním směru. Jedná se o anténní systém umístěný kolmo na prodloužené ose RWY ve směru přistání. Druhý je *UKV sestupový maják* tzv. *Glide Path*, který pracuje v pásmu 329,15–335 MHz a jeho úkolem je navést letadlo ve vertikální tedy sestupové rovině. Jeho umístění se nachází v dosedací zóně do 200 m vedle RWY a skládá se ze dvou 2 antén. V poslední řadě obsahuje *VKV polohové návěstidla* tzv. *Markers*. Ty pracují na nosné frekvenci 75 MHz a jejich úkolem je indikovat vzdálenost od prahu RWY. Umísťují se na prodlouženou osu RWY v počtu 2–3. Jejich úkolem je vytvořit „stěnu“ radiových signálů jimiž pilot prolétne. Následkem je reakce palubního přijímače, který vyše příslušný optický a akustický signál. V dnešní době jsou již ale nahrazovány lepším a výkonnějším systémem DME. Někdy je připojen navíc tzv. NPA k navádění v opačném směru než je směr přiblížení na přistání.

Zařízení ILS má ovšem nesčetnou škálu negativních vlivů. Mezi jeden z hlavních patří malá kapacity celého systému a s tím spojená kapacita RWY z důvodu úzkých svazků vyzářovacích směrových diagramů, pro všechny druhy letadel disponuje pouze jedinou referenční trajektorií nebo neschopnost pracovat ve zvlněném terénu díky možným odrazům.

Obr. 4: ILS^[13]

K zamezení negativních vlivů zařízení ILS byl zkonstruován radionavigační prostředek **MLS**. Radionavigační zařízení MLS má odstranit jeho ne příliš vábivé nedostatky a zlepšit navádění na přiblížení na přistání v případě snížené viditelnosti. Má poskytnout informace pro kurz přiblížení, sestup, podrovnání a kurz letu při nevydařeném přiblížení. Vzdálenost lze určit pomocí zařazeného DME, které slouží v prvním náhledu pro měření šikmé vzdálenosti letadlo-odpovídač pracující v pásmu 960–1215 MHz. Přístroj MLS byl přijat organizací ICAO a stal se standardem pro řízení přesného přiblížení na přistání. Pracuje v pásmu 5031–5090 MHz. Mezi hlavní kladné aspekty u zařízení MLS patří možnost využití až 200 kanálů, širší zaměřovací úhly a větší dosah, současné řízení několika druhů letadel po různých trajektoriích přesného přiblížení na přistání či odolnost poruch způsobených povětrnostními podmínkami a mnoho dalších.

Další přínos nastal s nástupem polovodičových součástek, kde se začalo mezi pilotem a řídicím letového provozu komunikovat verbálně. Verbální komunikaci zřizovaly VHF rádiové stanice. Ovšem největší přínos nastal během druhé světové války a nástupem radarů. **Radar** měří vzdálenost cílů a směry rádiových vln k těmto cílům. Jedná se o verbální komunikaci mezi řídicím letového provozu a posádkou letadla. Tento druh navigace a zjišťování polohy letadla se zachoval do dnes. Radary lze rozdělit na primární přehledové radary, sekundární přehledové radary a pasivní sledovací systém. Radary pracují v různých pásmech o různých frekvencích.

<i>Frekvence f / Střední vlnová délka λ</i>	<i>Označení pásma</i>
100 GHz / 0,3 cm	O
60 GHz / 0,5 cm	V
37,5 GHz / 0,8 cm	Q
24 GHz / 1,25 cm	K
10 GHz / 3,00 cm	X
6 GHz / 5,00 cm	C
3,75 GHz / 8,00 cm	SW
3,0 GHz / 10,00 cm	S
1,2 GHz / 25,00 cm	L

Tab. 1 : Pásma radarů

1.2. Možnosti CNS

1.2.1. Vizuální navigace

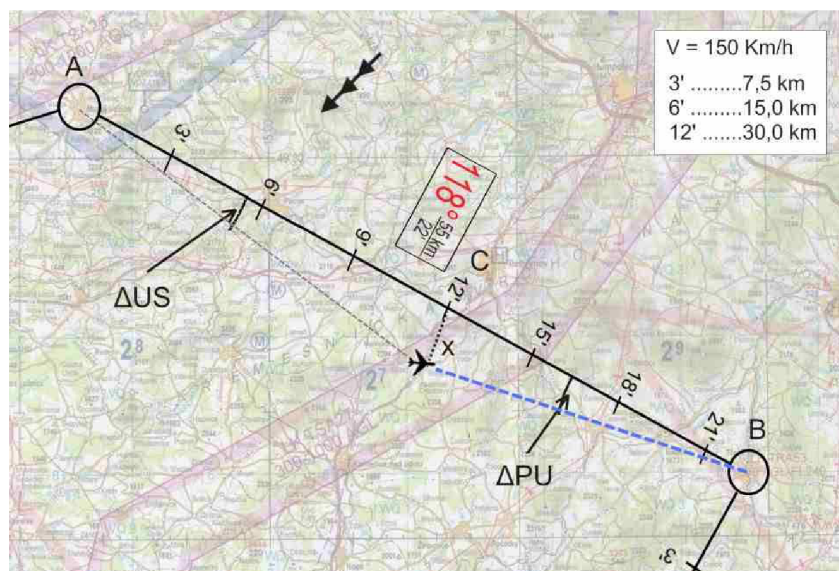
Vizuální navigace je jednou z prvotních možností jak a za pomoci čeho letadlo udržet ve vzdušném prostoru. Pilot popřípadě navigátor za pomoci kompasu a mapy se orientuje dle vizuálního kontaktu se zemí. K tomu druhu navigace je zapotřebí tzv. VFR podmínek letu.

1.2.2. Astronomická navigace

Metoda astronomické navigace využívá k určení polohy letadla vůči zemi polohu hvězd. Dnes je to spíše zapomenutá metoda, kterou letci přejali od námořníků. Ti ji používají dodnes. Ovšem pro letce je tato metoda příliš zdlouhavá, hlavně časově. Princip spočívá v neměnné poloze hvězd na obloze. Vůči poloze pozorovatele na Zemi, která se otáčí, se poloha hvězd na obloze ale mění. V minulosti byly polohy hvězd v kteroukoliv dobu zaznamenány do tabulek. Poloha hvězd je určena tzv. deklinací hvězdy na obzorem neboli výškou. U letadla je obzor nahrazen vodorovnou rovinou. Každá hvězda má velmi přesně určenou geografickou polohu pro každou dobu. Geografickou polohou je myšlen průmět polohy hvězdy na zemský povrch. Danou hvězdu nad obzorem je možné pozorovat pouze z tzv. polohové čáry. Polohová čára je myšlená opsaná kružnice povrchu Země z geografického bodu a její poloměr odpovídá naměřené výšce. Takle kružnice se pak vynášejí na speciální leteckou mapu. Obdobně se pokračuje s minimálně ještě jednou hvězdou. Ovšem pro přesnější určení polohy se používá 3 a více hvězd. Tam, kde se polohové kružnice protnou, je hledaná poloha letadla. Jak lze z popisu vidět, jedná se o velmi přesnou metodu bez toho aniž by byla známa vzdálenost a délka letu ovšem příliš časově náročnou.

1.2.3. Navigace výpočtem

Posádka vyhodnocuje svoji předpokládanou polohu díky všem prostředkům co jsou v daném časovém okamžiku na palubě a z nejpřesnějších získaných údajů. Údaje jsou získány z kompasu, díky němuž udržuje pilot směr, hodinek a rychloměru. Výpočet je založen na kurzu letadla (HDG), pravé vzdušné rychlosti (TAS) a směru větru (W/V). Takto zjištěná poloha se zakresluje do mapy. Navigační výpočty se provádějí buď před letem a nebo za letu. Opravy této metody se provádí graficky, početně a nebo pomocí speciálních pomůcek.



Obr. 6: Příklad zakreslení do mapy při navigaci výpočtem [14]

1.2.4. Radionavigace

Tento druh navigace je založen na šíření rádiových vln. Tyto vlny šíří radionavigační přístroje zmíněnými výše, jako např. ADF-NDB, VOR, ILS, MLS a mnohé další. Díky těmto šířícím se vlnám se přenáší informace bez potřeb viditelnosti povrchu Země. Přehled o vzdušné situaci tak má jak posádka na palubě letadla, tak řídící na svých stanovištích ATC.



Obr. 7: VOR [15]

2. Moderní metody a technologie navigace

Moderní technologie mají za úkol mimo jiné dodržovat obecné požadavky, jež jsou kladeny na pět základních aspektů, jimiž jsou:

- *dostupnost*, tedy že signál bude dostupný kdekoliv
- *nepřetržitost*, která sestává v nepřetržité dostupnosti signálu
- *přesnost*, udávající chybu měření nepřekračující danou hodnotu
- *integrita* související s celistvostí pracujícího systému
- *funkčnost*, která má zabezpečit plnění požadovaných úloh

a to vše s jistou zvolenou pravděpodobností.

2.1. Inerciální navigace (INS/IRS)

Jedná se o naprosto autonomní, tedy nezávislý systém na jakýchkoliv radionavigačních prostředcích či navigačních družic. Polohu letadla je určena zařízením přímo na palubě letadla. Před samotným vzletem je ale potřebné zadat do systému polohu udávanou zeměpisnými souřadnicemi tzv. počáteční polohu. Důvodem je, že systém vypočítává dráhu pohybu od vloženého počátečního bodu. Tento systém je založen na měření zrychlení popřípadě měření rychlosti pohybu letadla vzhledem k počáteční poloze spolu s využitím 2. Newtonova zákona. 2. Newtonův zákon říká, že vnější síly, které působí na těleso způsobí zrychlení. Toto zrychlení je pak přímo úměrné velikosti a směru výslednice daných sil. Systému INS nezáleží na tom, jak se pohybuje letadlo, protože akcelerometry, které jsou základním měřidlem, zůstávají v jedné dané rovině. Ke stabilizaci nosné základny využívají mechanické gyroskopy.

Systém IRS, který je dnes výhradně používán, naopak dbá na pohyby letadla. Důvodem je pevné spojení akcelerometrů s konstrukcí letadla a vlivem toho se měří úhel náklonu. Tyto pevně spjaté akcelerometry jsou laserové. Oproti systému INS není potřebná mechanická nosná základna, která zabezpečuje stabilizaci, což vede k výhodě tohoto zařízení. Stabilizace je zde zaručena matematickou základnou, která vyhodnocuje všechny úhlové náklony letadla kolem svých os. Náklony letadla jsou pak přepočítány do složek zrychlení v osách letadla, které jsou situovány k zeměpisnému severu a kolmo na osu letadla a střed Země. Z těchto všech údajů, obdobně jako u systému INS, je počítačem vyhodnocena okamžitá poloha.

2.2. Navigace umělými družicemi země (GNSS)

Dalo by se říci, že se jedná o vylepšenou astronomickou navigaci. Využívá spoustu poznatků z astronomické navigace, ale využívá navíc umělých družic země (NUDZ). Poloha NUDZ vůči zemskému povrchu je přesně dána. Tudíž poloha letadla se určuje ze vzájemné polohy NUDZ a letadla. Jedná se o určení polohy v reálném čase. K určení polohy letadla je zapotřebí znalostí Keplerových zákonů a několika NUDZ. Existuje a plánuje se několik možných odvětví GNSS jako GPS NAVSTAR (USA), GLONASS (Rusko), GALILEO (EU) a další. V dnešní době je nejvíce znám systém GPS. Bohužel ale doposud nedosahují tyto systémy dostačující integrity a nejsou tedy považovány za dostatečně spolehlivé.

GPS – NAVSTAR zjednodušeně GPS je systém prvotně vytvořený pro americkou armádu, ale v polovině 90. let pronikl i do civilní sféry. GPS k určení polohy používá několik možných metod – úhломěrná, dopplerovská, interferometrická, měření fáze nosné a dálkoměrná. Zaměřím se na zjednodušené popsání pouze v dnešní době nejčastěji používané

metody, tedy na metodu *dálkoměrnou*. Jedná se o metodu používající měření vzdáleností objekt - družice. Polohu objektu lze jednoznačně určit pomocí měřených vzdáleností objektu od minimálně 4 družic. Poloha družic v prostoru je známá. Měří se čas zpoždění signálu od družic k objektu. Posléze pomocí řešení tří rovnic o třech neznámých lze určit polohu objektu. Takto lze určit polohu pouze v případě, že časy jak družic tak přijímače objektu jsou synchronizovány. Jedná se o tzv. pasivní metodu měření, kdy objekt nevysílá žádný signál, pouze jej přijímá. GPS se skládá ze 3 částí. První z nich je *Řídící systém*, kterým je řídicí středisko a provozní stanice. Dalším je *Kosmický segment*, který zastupují NUDZ. Celkově se nad zemským povrchem na orbitálních drahách pohybuje 6 družic s dobou oběhu 12 hodin. Díky nim je dobře pokryt celý zemský povrch. Družice jsou vybaveny tak, aby byly schopné podávat informace o času, poloze a rychlosti. Veškeré tyto informace nejsou závislé ani na počasí ani na prostředí, tudíž jsou použitelné kdykoliv. Ale celkově se v prostoru pohybuje 24 NUDZ. Poslední je pak *Uživatelský segment* složený z antény, přijímače signálů GNSS, počítače a displeje.

2.3. Technologie RNAV

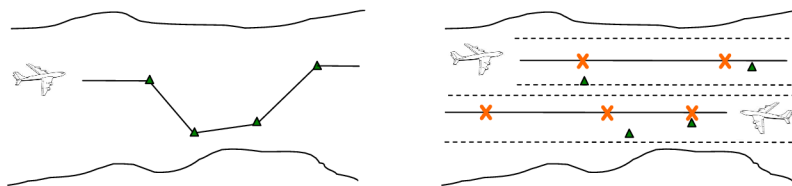
Pojem RNAV z anglického překladu Area Navigation představuje prostorovou navigaci umožňující provést zamýšlený let pilotem po letové trati bez nutnosti navigace od jednoho pozemního zařízení k dalšímu. Jak je tedy hned patrné, jedná se o metodu navigace IFR neboli metodu závislou na pravidlech pro let dle přístrojů. Letecká doprava se doposud potýká s různými problémy, mezi než patří stále nedostačující kapacita vzdušného prostoru a s tím souvisejícím objem letecké dopravy. Z tohoto hlavního důvodu se objevila technologie RNAV.

RNAV je mnohem benevolentnější technologií než předcházející starší, jelikož pilot má větší svobodu ve výběru zamýšlené letové tratě. Tímto tedy dochází k mnohem efektivnějšímu využití samotného vzdušného prostoru. Není zde nutností volit letovou trať od daného radionavigačního zařízení k dalšímu striktně, ale radionavigační zařízení jsou jen využita k plánování zamýšlené trati. Neodmyslitelně má tato technologie ke své správné funkčnosti vyžadováno několik podmínek. Těmi hlavními jsou zajištění dostatečné nepřetržitosti, dostupnosti a přesnosti informací. Informace ale musejí být předávány s dostatečnou itegrací a funkčností. Všechny tyto požadavky při jejich respektování a realizaci vedou ke zvyšování spolehlivosti RNAV.

Informace o dané poloze jsou pro systém získávány z několika zdrojů zároveň. Jednou z možných kombinací je VOR/DME, DME/DME, ILS a nebo MLS, INS/IRS a GNSS. Takto získané informace jsou za pomocí RNAV zpracovány. Zpracování probíhá takovým způsobem, aby výsledná informace poskytla co nejpřesnější, nejspolehlivější a plynule obnovený údaj o poloze letadla a ostatní potřebné údaje pro pilota jako jsou kurz, rychlost, výška a další.

Letové tratě jsou díky této technologii zkráceny a zefektivněny. Důsledkem je tedy i kratší čas letu a nižší spotřeba paliva. Z ekonomické stránky je zde také posun k lepšímu, jelikož díky ušetřenému palivu a času mohou letecké společnosti využívat svá letadla více. Výhodou je i snížení rozstupů mezi letadly díky zvýšené přesnosti. Tento fakt umožňuje i tvorbu dvojích či paralelních tratí a tím i zvýšení hustoty provozu. Kladný vliv RNAV se ukázal i v ohledu na hlukovou zátěž obyvatel v blízkosti letišť. Ukázalo se, že flexibilita získaná vhodnější volbou tratí dospěla k zavádění nových příletových a odletových postupů v koncových oblastech vzdušného prostoru. Vlivem toho i plynulejší provoz, nižší separace mezi letadly a v konečném důsledku zvýšení dráhové kapacity letiště. Přesné přistání lze díky

RNAV využívat i na letištích, která buď nejsou zaopatřena pozemními přibližovacími zařízeními a nebo naopak je mají, ale jsou nedostačující.



Obr. 8: Klasické versus přímé tratě

2.3.1. Úrovně RNAV

Úrovní je rozuměno v kolika dimenzích je RNAV poskytováno. Z tohoto hlediska jsou prozatím 4 úrovně a to:

- a) 2D RNAV – vedení letu pouze v horizontální rovině
- b) 3D RNAV – vedení letu v horizontální i vertikální rovině
- c) 4D RNAV – vedení letu ve 3D prostoru a v čase

Úrovně budou k lepšímu pochopení níže objasněny.

Ad. a) 2D RNAV

Jedná se o tu nejzákladnější aplikaci systému RNAV. Pilotovi jsou podávány informace o jeho poloze pouze v horizontální rovině. V ní také probíhají veškeré řízení, kromě řízení výšky, která je řízena odděleně od systému RNAV.

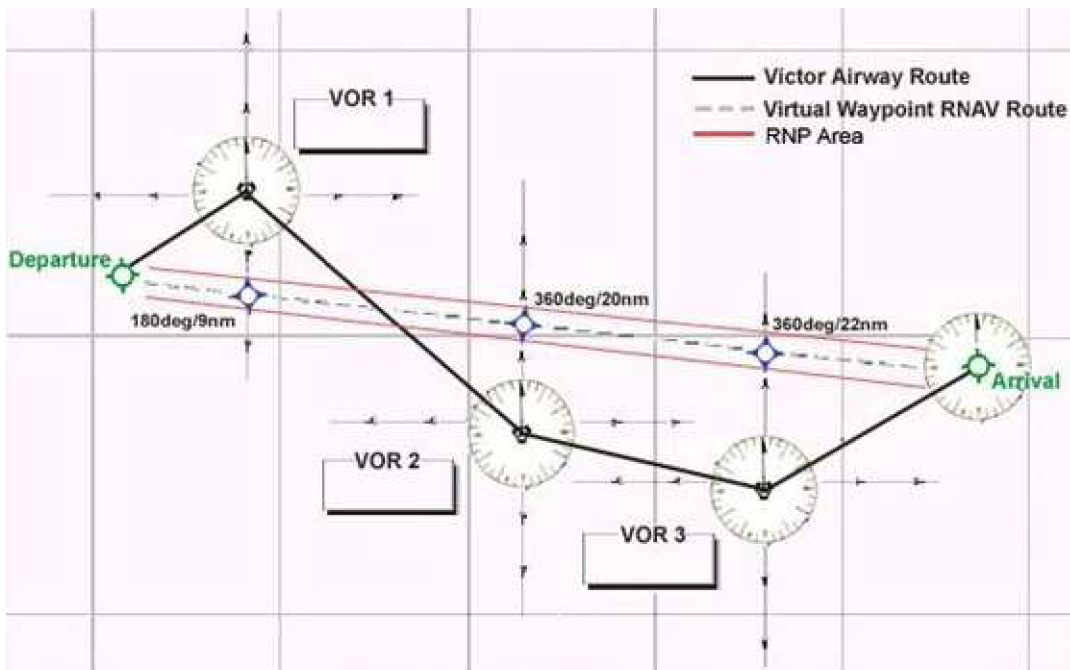
Tato úroveň RNAV je založena především na zařízení VOR/DME. Spočívá v nadefinování pilotem tzv. traťových bodů (waypoints, WPT) pomocí vzdáleností a směrů k vhodně umístěnému zařízení VOR/DME. Systém potom sám spočítá QDM a vzdálenost ke zvolenému bodu trati. Získaná informace je posléze zobrazena na CDI nebo HSI ve formě jako kdyby daný bod tratě byl samotné zařízení VOR/DME.

Traťové body je možné volit pro:

- body počátečního přiblížení (IAF)
- standardní odletové a příletové tratě (SID, STAR)
- navigace po trati (En-route)
- vnější majáky (OM marker)

Na palubě se zařízení pro jednoduché 2D RNAV skládá z:

- navigační počítač (NUC)
- blok řízení (CDU)
- indikátor (CDI nebo HSI)



Obr. 9: Běžná versus RNAV navigace ^[20]

Jak lze z Obr. 9 vidět, letadlo odlétá a míří na waypoint 1 (WP1), který je určen zařízením VOR 1. Jakmile přelétá WP1, přeladí se na následující stanici, v tomto případě VOR 2 a současně měří úhel a vzdálenost. Vzhledem k WP2, jež byl vybrán pilotem, zná RNAV velmi dobře pozici letadla. Počítač pak tedy velmi snadno určí kurs tratě i vzdálenost mezi waypointy WP1 a WP2. Tyto klíčové informace získá z dvou již známých bodů, zaměřeného úhlu a orientaci k magnetickému severu. Je tedy zřejmé, že systém musí neustále přepočítávat polohu letadla vzhledem k daným waypointům. Tento údaj porovnává s vypočítanou tratí díky čemuž stanoví stranovou odchylku od trati v námořních mílích a zbývající vzdálenost.

Ad c) 4D RNAV

V dnešní době tuto úroveň RNAV uskutečňuje tzv. FMS. Jedná se o systém, který během celého letu neustále přijímá informace od různých systémů, včetně navigačních. Informace se týkají navigace, meteorologických podmínek, výkonů letadla, motoru či informací o palivu. Takto získané informace následně zobrazuje na displejích. Zmíněné informace získává z externích zdrojů jako jsou VOR, DME, INS, GPS a další. V případě paliva za pomoci průtokových senzorů. Druh tohoto systému, tedy FMS, je schválen ve většině RNAV vzdušných prostorech za podmínek IFR.

Systém FMS má několik částí mezi něž patří:

- Flight Management Computer (FMC)
- Autopilot/Flight Direction System (AFDS)
- Autothrottle (A/T)
- Inerční navigační systém (IRS)

a další.

Všechny části systému FMS spojuje a provádí díky nim automatickou navigaci, sledování po trati a spoustu dalších potřebných funkcí. Je tedy zřejmé, že FMS provádí 4D prostorovou navigaci, která zahrnuje výšku, zeměpisnou šířku a délku a také čas. Důsledkem použití FMS je mnohonásobně ekonomičtější let.

Hlavní částí celého systému je FMC, který se stará o veškeré výpočty, vydává povely pro správné řízení a vedení a také navigaci. Mimo jiné obsahuje navigační databázi, jež je v pravidelných intervalech aktualizována. Databáze s sebou nese místní i celosvětovou knihovnu zaměřující se na navigační zařízení a prvky. Každý prvek databáze je opatřen vlastním jménem, frekvencí, souřadnicemi a dalšími veličinami, které mají zajistit navigaci a dostatečnou informovanost posádky.

- otočné body (FIX)
- údaje o letišti – velikost a kategorie, RWY, ...
- radionavigační body – kmitočty, výška, ...
- standardní příletové a odletové trasy i s postupy při nezdařeném přiblížení
- přistávací a vzletové dráhy
- vyčkávací okruhy

a mnoho dalších důležitých informací závisících na daných typech letadla a jejich výrobců. Pokud letadlo jisté letecké společnosti létá na jisté trase pravidelně či několikrát, je zde možnost uložení trasy pro pilota. Ten si pak pouze z databáze načte požadovanou trasu a již nemusí vše nastavovat ručně.

Komunikaci posádky s FMC zajišťuje CDU, které obsahuje alfanumerickou klávesnici a další potřebná tlačítka. CDU veškeré důležité informace současně zobrazuje na svém displeji.



Obr. 10: CDU FMC 737 NG ^[21]

Informace FMS v úlohách navigace získává z INS/IRS, GNSS, DME/DME, VOR/DME a jiných. Po jejich získání následuje zpracování, díky kterému vypočítá polohu. Povely FMC lze úzce svázat s A/T a AFDS a jsou tak vstupními povely pro autopilota. Naskýtá se možnost některé letové fáze zcela zautomatizovat. Ovšem i během takto plně zautomatizovaného řízení letu, má posádka naprostou kontrolu nad letadlem. Posádka ale i tak musí neustále automatické řízení kontrolovat a dohlížet na jeho správnou funkci.

2.3.2. Typy RNAV

Navigace RNAV je možné rozdělit do dvou typů:

- a) *B-RNAV – Basic RNAV*
- b) *P-RNAV – Precision RNAV*

Ad a) B-RNAV – Basic RNAV

Prvním stupněm RNAV navigace je Základní neboli Basic RNAV. K zavedení tohoto typu navigace vedla myšlenka navýšení kapacity vzdušného prostoru. Navýšení kapacity se mělo udát modifikací letových tras v oblastním vzdušném prostoru.

Přesnost určení polohy se u B-RNAV určuje jako maximální hodnota celkové chyby polohy letadla v 95% případech měření okamžité polohy. Tato chyba určení polohy je stanovena do 5 NM. U běžně dostupných systémů tato hodnota není problémovou, spíše naopak.

Ve vzdušném prostoru ECAC se požadavky B-RNAV zavedly povinnými od FL 95 od roku 1998. Za správu a poskytování potřebné infrastruktury jsou členské státy ECAC zodpovědní.

U B-RNAV se pro určení polohy letadla užívají technologie VOR/DME, INS či GPS. Je tedy zřejmé, že se tento typ RNAV používá zejména pro traťovou navigaci. Během dalších fází letu jako je přiblížení, přílet a odlet není schopna plnit dostatečně svoji funkci. Ovšem kapacita vzdušného prostoru narostla.

Ad b) P-RNAV

Další již vylepšený stupeň RNAV je Přesný, tedy Precision RNAV. Podobně jako B-RNAV je i u tohoto typu uvedena přesnost určení chyby jako maximální hodnota celkové chyby polohy letadla v 95% případech měření okamžité polohy. Ovšem zde je hodnota nižší, a to do 1 NM. Tato hodnota musí splňovat požadavky navigační výkonnosti RNP 1. V dnešní době je tato hodnota odchylky většiny letadlových parků splnitelná. Tento zmíněný typ RNAV je použitelný v koncových oblastech, tedy tam, kde B-RNAV nemá možnost fungovat.

U P-RNAV se pro určení polohy letadla užívají technologie VOR/DME, DME/DME, GPS nebo INS/IRS. Typ P-RNAV se používá na příletových (RNAV-STAR) a odletových (RNAV-SID) trasách, úsecích počátečního přiblížení a lze jej začlenit i do traťových letových úseků. Ovšem stále se nedá využít pro koncové přiblížení nebo v případě nezdařeného přiblížení z důvodu nedostatečné povolené odchylky 1 NM.

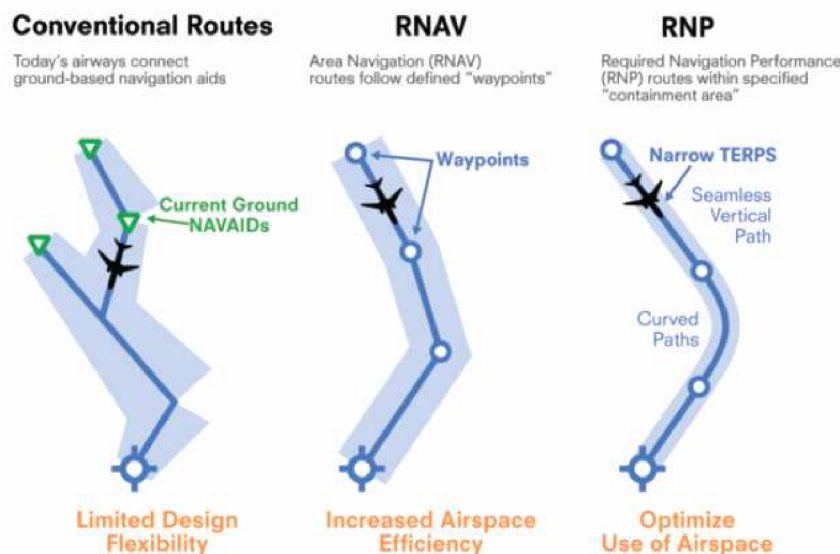
Od roku 2005 se již přešlo z provozu B-RNAV na provoz P-RNAV především v TMA s hustým vzdušným provozem. Posléze od roku 2010 se od konvenčních neboli NON-RNAV tratí naprosto ustoupilo.

2.4. Definování RNP

RNP (Required Navigation Performance) pod svojí zkratkou skrývá požadavek stanovený na navigační zařízení. Poukazuje svým kvalitativním zhodnocením na kvalitu daných zařízení CNS v daném vzdušném prostoru. RNP uvádí maximální přípustnou hodnotu celkové chyby měření polohy. Nejen že chyby uvádí, ale jsou v ní uvažovány a zahrnuty další chyby jako chyba zdroje signálu, palubního přijímače, technické chyby a další.

RNP navigační systém je podobný systému RNAV. Hlavním rozdílem od navigace RNAV je požadavek na palubě, kde se hledí na monitorování a případné varování navigační výkonnosti, k čemuž využívá systému GNSS. Dále je také požadavek na úroveň výkonnosti na konkrétní vzdušný prostor. Úrovní RNP je rozuměna schopnost určit potřebnou vzdálenost mezi letadly. Tato schopnost je odvislá od vybavení letadla a navigační infrastruktury. Příkladem může být letoun vybaven a certifikován pro RNP 0,1, ovšem nemusí být z důvodu omezeného navigačního pokrytí schopen dostát operací RNP 0,1.

RNP tedy poskytuje posádce letadla vést letadlo po přesné letové dráze a to s vysokou přesností a nejen to, dokáže určit polohu letadla jak s vysokou přesností tak i integritou. Dalším rozdílem od P-RNAV je mnohem lepší optimalizace trasy. Přidáním poloměru RNP k fixním příletům, přiblížením a odletům se navýší kapacity vzdušného prostoru zkrácením trasy pro přiblížení a odlety. Postupy přesného přiblížení s nižšími minimy nahradí nepřesné postupy přiblížení, díky čemuž se sníží nezdařené přiblížení.



Obr. 11: Optimalizace trasy RNP [22]

Příkladem úrovně výkonnosti je RNP 10, která vypovídá o schopnosti navigačního systému vypočítat svoji polohu v kruhu o poloměru 10 NM. Nebo obdobně RNP 0,3, znamená, že navigační systém letadla musí být schopen vypočítat svoji polohu v kruhu o poloměru 0,3 NM. Samozřejmě letadlo musí mít letecké i provozní povolení pro RNP a posádka musí znát a mít uvedenou úroveň monitorování. Na palubu letadla není potřebné instalovat další nová zařízení, hravě si vystačí se systémem FMS. Systém FMS je klíčovou částí vyhovující RNP.

Mezi výhody RNP patří větší navigační přesnost a správnost, snížení přibližovacích okruhů, nižší spotřeba paliva a tím ušetření času a také redukování nezdařeného přiblížení.

ICAO klasifikovalo standardy navigační výkonnosti, tedy požadované přesnosti RNP v daném vzdušném prostoru. Tuto navigační výkonnost musí všechny typy letadel po 95% doby strávené v daném vzdušném prostoru vymezeném RNP dodržet. Požadovaná navigační výkonnosti se tedy udává ve formě horizontálních rozstupů, ale lze ji použít i na vertikální rozstupy. V Evropě jsou definovány pro odlet, na letové trase a pro nepřesné přiblížení.

RNP v Evropě pro odlety:

- za běžných okolností RNP 1
- pokud je to nutné a vhodné RNP 0,5 nebo RNP 0,3

- RNP < 0,3

RNP v Evropě *na letové trase*:

- za běžných okolností RNP 4 a vyšší
- pokud je to nutné a vhodné RNP 1

RNP v Evropě *pro nepřesné přiblížení*:

- za běžných okolností RNP 0,5
- nebo RNP 0,3 pro počáteční, střední a koncové přiblížení
- u přístrojového přiblížení nejméně RNP 0,3

2.5. Koncept PBN

Se stále zvyšujícím se růstem letecké dopravy je zapotřebí vyšší efektivity letů. Tím je tedy nezbytné stále optimalizovat vzdušný prostor. Tato nezbytná optimalizace je dosažena za pomoci technologického pokroku v oblasti CNS. Lépe řečeno, použití oblastních navigačních technik ve všech fázích letu přímo přispívá k potřebné optimalizaci vzdušného prostoru. Oblastní navigace je umožněna obvykle systémem RNAV. Díky jeho funkčnosti se stále více využívá za účelem maximalizovat vzdušný prostor. Posádka letadla i ATC musejí mít povědomí o úrovni a tím způsoblosti RNAV na palubě daného letadla. Tím je zajištěna výkonnosti RNAV systém a hlavně odpovídá požadavkům v příslušném vzdušném prostoru. Použití systémů RNAV spočívá v jádru PBN, tedy v navigaci založené na výkonnosti, a zavádí potřebné požadavky pro schválení použití těchto systémů ve vzdušném prostoru.

Koncept RNP byl v roce 2007 nahrazen konceptem PBN. O necelý rok později ICAO vydalo dokument Doc. 9613 Performance Based Navigation Manual, kde je detailně tento koncept popsán. Je ovšem nutné podotknout, že koncept RNP nezankl, nýbrž byl modifikován a rozšířen.

ICAO si konceptem PBN klade za cíl:

- zajistit globální součinnost prostřednictvím standardizace RNAV a RNP výkonem systému pomocí RNP specifikací a mezinárodně dohodnutých navigací
- v použití po celém světě omezit šíření navigačních specifikací

PBN je složeno ze tří základní složek, a to *navigační aplikace*, *navigační specifikace* a *navigační infrastruktury*. Je definována jako druh prostorové navigace, jež je založena na výkonových požadavcích na letadlo. Požadavky se týkají letadel, která se pohybují v úseku přiblížení na přistání po trati ATS či v jinak definovaném vzdušném prostoru. Samotné výkonové požadavky jsou uvedeny v navigační specifikaci a zahrnují přesnost, integritu, funkci, dostupnost a samozřejmě spojitost systému.

2.5.1. Navigační aplikace

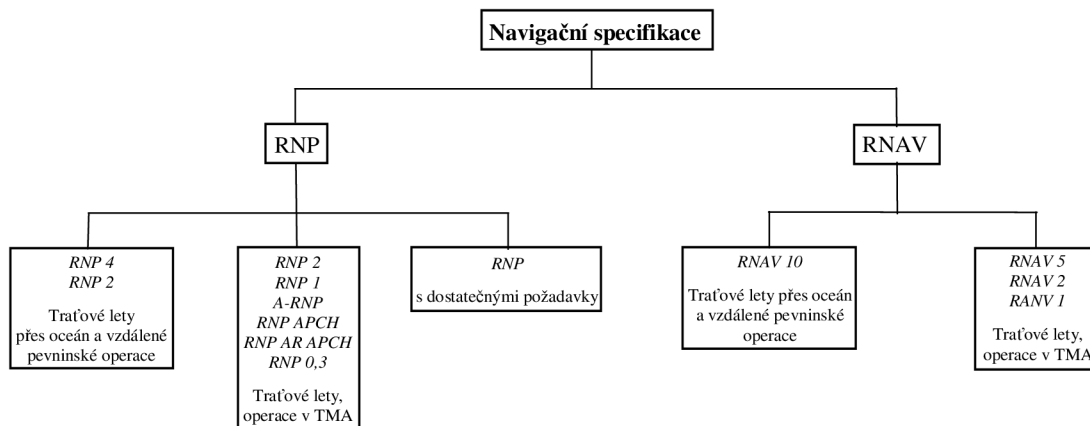
Navigační aplikace zavádí specifikace a infrastrukturu na dané trasy, postupy a definovaný vzdušný prostor v souladu s určeným konceptem. Je tedy zřejmé, že základními pilíři jsou navigační specifikace a infrastruktura dostupné v konkrétním vzdušném prostoru.

Naskýtá se ale i negativní možnost, kdy navigační infrastruktura ve vymezeném vzdušném prostoru nesplňuje požadavky navigační specifikace. Tím je daný typ potupu omezen.

2.5.2. Navigační specifikace

V první řadě se jedná o technicko provozní požadavek na vybavení a funkce RNAV. Ale nejen to, jde i o splnění provozních požadavků, které jsou definovány v daném vzdušném prostoru. Tudiž se jedná i o režim v jakém v rámci navigační infrastruktury bude vybavení pracovat. Požadavky nejsou kladeny pouze na vybavení, ale i na posádku a její potřebný výcvik.

PBN obsahuje dvě základní části navigačních specifikací, a to RNAV a RNP. Odlišnosti jsou ve sledování a varování na palubě v případě ztráty požadovaného navigačního výkonu u RNP. Specifikace RNP je využita především tam, kde je zapotřebí vysoké navigační výkonnosti a ve vzdušných prostorech se slabým radarovým pokrytím či v jejich částech. Kde se nachází dostatečné pokrytí přehledovými systémy se pro postupy používají specifikace RNAV. Specifikace RNAV na rozdíl od specifikace RNP nevyžadují sledování a varování na palubě při ztrátě požadovaného navigačního výkonu.



Obr. 12: Schéma navigační specifikace

2.5.3. Navigační infrastruktura

Navigační infrastruktura je způsob zabezpečení navigační specifikace, která je zamýšlena. Lze ji rozdělit na autonomní, pozemní a kosmickou. Pro postupy v koncových řízených oblastech jsou použity pozemní navigační prostředky jako DME, VOR, které PBN podporuje. Stěžejní pro zabezpečení PBN je GNSS z pohledu navigační infrastruktury, protože navigační výkonnost je mnohem vyšší než u ostatních.

3. Definice ADS

Z anglického slova Automatic Dependent Surveillance se jedná o Závislý automatický přehled o vzdušné situaci. Jedná se o systém přehledové techniky, kdy letadlo samo o sobě automaticky dokáže poskytovat údaje o poloze ve čtyřech rozměrech (poloha zaujímaná v prostoru spolu s časovou informací), identifikaci letadla a další různé údaje. Tyto informace posílá pomocí datového spojení a získává je ze svojí palubní navigace a polohových systémů. Data z ADS, které se řídicímu letového provozu zobrazují na obrazovce mají podobný charakter jako data z radarových čidel. ICAO ve svém dokumentu Doc. 4444 PANS-ATM má zaznamenáno, že lze u řízení letového provozu použít informace z ADS, pokud identifikace týkající se letadla je prokázána.

ADS se vyazuje dvěma charakteristikami jako je automatika a důležitost palubních systémů. Automatika se projevuje v odesílání dat stanovišti řízení letového provozu bez zásahu pilota. Data byla závisle získána na základě požadovaných informací od samotného letadla. Z toho hned vyplývá důležitost palubních systémů (např. VOR/DME, INS, GPS...). V tomto ohledu ADS poskytuje největší rozdíl od klasických konvenčních přehledových prostředků. Jako základní zdroj informace o dané poloze letadla slouží GNSS a většina implementací ADS jej využívá.

Z pohledu techniky ADS vyžaduje navigační systémy a datové spojení z avioniky na palubě letadla a na zemi ve stanici příjmu informace ADS. Hojně slouží pro přehled v oceánských oblastech nebo tam, kde pokrytí radarem je malé až žádné.

ADS ve srovnání s radarem má jednu obrovskou výhodu a to tu, že dokáže přenášet přes datovou linku více informací jako např. informace o poloze letadla a identifikaci letadla. Poloha letadla je v ADS nazývána jako *zpráva o poloze (position report)* a obsahuje několik informací:

- identifikace letadla
- poloha ve 3-D
- časová informace
- navigační indikace FOM sloužící k vyjádření integrity polohy

a další (track, kurz a vzdušná rychlost apod.)

Přenos dat ADS je řešeno za pomoci čtyř možností:

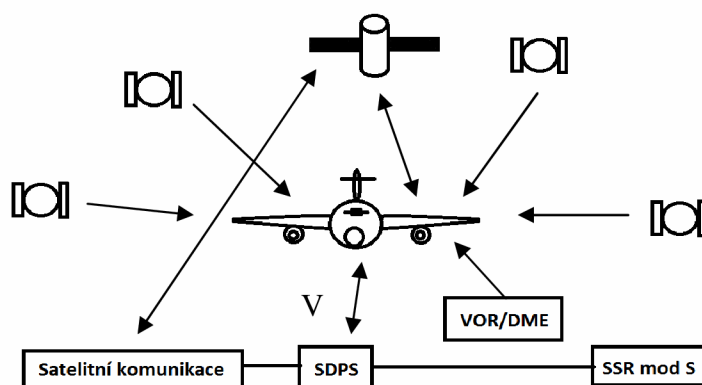
- VHF komunikace
- HF komunikace
- SSR mód S
- satelitní komunikace (GNSS)

Takto získané informace lépe řečeno data jsou následně zavedeny do systému pro zpracování přehledových dat, tzv. SDPS. Tento systém zpracovaná data vyhodnotí a zobrazí je jako trajektorii letu letounu spolu s doplňujícími informacemi o letounu.

ADS poskytuje dvě možné varianty:

- ADS-B (Broadcat)

- ADS-C (Contract)



Obr. 13: Uspořádání ADS

3.1. ADS-B

3.1.1. Počátky vzniku

Federální úřad pro letectví v roce 2005 měl za snahu založit program ke sledování letadel a vysílání jejich polohy ve všech směrech. V dnešní době je stále řízení letového provozu závislé na radarové informaci, ale v budoucnu tomu určitě bude naprosto jinak. S nástupem technologie GNSS se jedná o blízkou budoucnost, protože ADS-B jej velmi hojně využívá. Samotný systém ADS-B měl za první cíl zjednodušit a modernizovat řízení letového provozu. Je to jedna z klíčových technologií vedoucí v programech NextGen a SESAR k jejich zlepšení. Tyhle dva programy měly za úkol nahradit radarovou techniku a samozřejmě zvýšit bezpečnost a přehlednost letového provozu mimo jiné. Vývoj ADS-B měl několik hlavních důvodů, jedním z nich bylo například nemožné či příliš nákladné pokrytí špatně dostupných, velmi odlehlých či členitých oblastí jako je např. Aljaška.

ADS-B umožňuje řídicím letového provozu aby viděli letový provoz s větší přesností a bezpečností. Naopak i pilotovi poskytuje stejné informace o letovém provozu jako řídicím, což doposud nebylo možné. Pilot si tedy sám může držet rozstupy mezi letadly. To je velmi dobrá zpráva, jelikož díky tomu se mnohonásobně ulehčí vytížení komunikačního kanálu mezi pilotem a řídicím. Ovšem lze jej použít i pro důležitější případy. Všechny tyto výhody vedou ke snížení nákladů, zmenšení rozstupů nebo zkrácení časů na vyčkávání.

Pokud se vztáhne ADS-B na konvenční radarovou techniku, tak ADS-B najde své výhody i zde. Dokáže totiž pracovat i na zemském povrchu a také v malých výškách, což pro samotný radar je nepředstavitelné. Díky systému ADS-B je tedy možné sledovat provoz nejen ve vzduchu, ale i na přistávacích a vzletových drahách a také na pojezdových drahách.

Systém ADS-B lze zkombinovat i s dalšími systémy jakou jsou TIS-B a nebo FIS-B. Při jejich kombinaci se pilotovi otevrou dveře k informacím typu počasí, NOTAMy, mapy terény a další.

3.1.2. Představení ADS-B

Automatic Dependent Surveillance-Broadcast je systém automatického závislého přehledového vysílání o vzdušné situaci. Automatický, protože není potřebné dalších externích podnětů jako jsou jiné systémy či zásah pilota k jeho funkci. Závislý, protože je

odkázán na poskytnutí informací z palubních přístrojů. A nakonec přehledový z významu poskytování informací obdobně jako radar. Broadcast vyznačuje všesměrové vysílání signálu a jeho příjem kýmkoli. Tedy nejen řídicí letového provozu, ale i ostatní letadla, která musejí být samozřejmě příslušně vybavena.

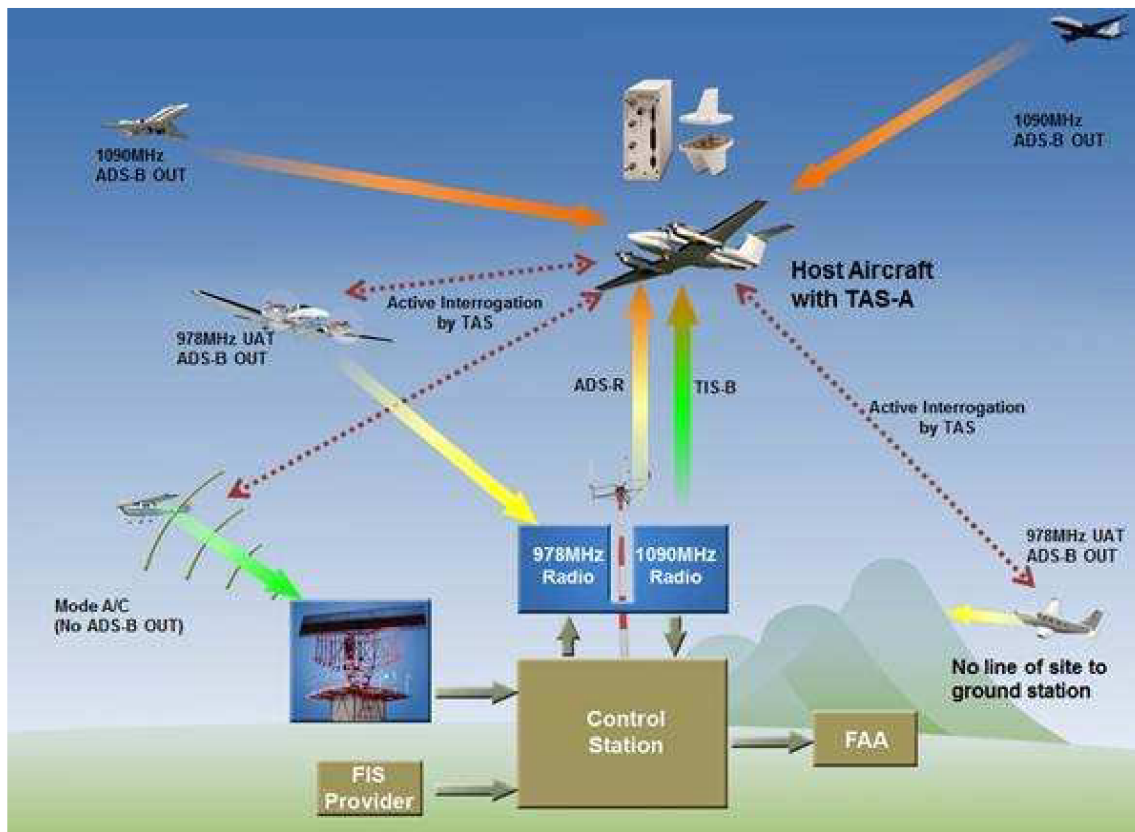
Systém slouží ke sledování pohybů letadel a je víceúčelový. Letadlo vybavené tímto systémem zjišťuje svoji polohu průběžně. K určení svojí polohy využívá globální navigační systém. Po zjištění polohové informace ji v jistých pravidelných intervalech společně s dalšími informacemi vysílá do všech směrů a všem okolím stanicím. Samozřejmě příslušné přijímací stanice musejí být vybaveny příslušným přijímačem ADS-B informace.

ADS-B se skládá ze dvou částí:

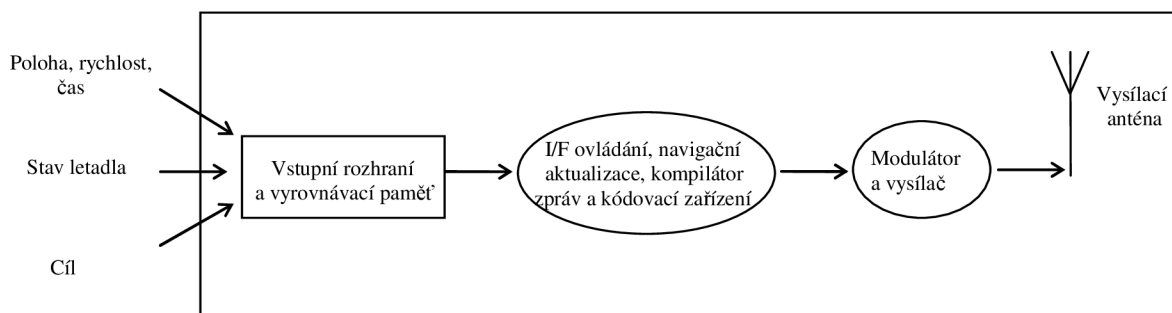
- ADS-B OUT
- ADS-B IN

ADS-B OUT

- vysílané informace, které jsou odesílána z letadla či jiného prostředku, které tuhle službu umožňují. Hlavní vysílanou informací je identifikace a aktuální poloha, na rozdíl od sekundárních radarů. Mezi další vysílané informace patří volací znak, nadmořská výška, rychlost atd.. Všechny odeslané informace musejí být poslány v přesně daném formátu pro příjem u ADS-B IN, který se nazývá ASTERIX. Systém OUT je složen ze dvou částí, a to GNSS jednotka, ke zjištění svojí polohy a palubního vysílače, tzn.odpovědače, kterým informace skutečně odešla. Odpovědač na odesílání využívá mód S známý pro SSR s názvem *Extended Squitter*. Informace, tedy spíše data posílá na frekvenci 1090 MHz. Alternativou je potom tzv. *UAT odpovědač* vysílaný na kanálu 978 MHz, kterého se využívá hlavně v USA v nižších nadmořských výškách.



Obr. 14: ADS-B OUT^[16]

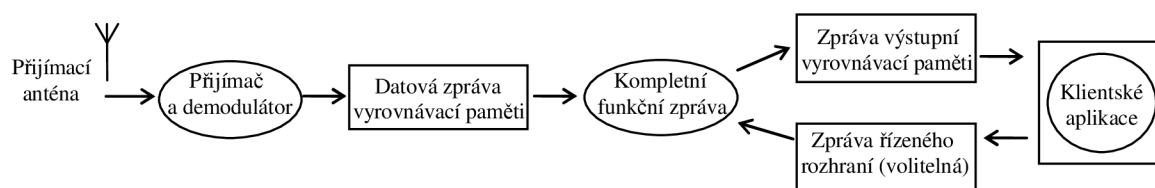


Obr. 15: ADS-B OUT vysílání

Na Obr. 14 lze vidět princip vysílání informace prostřednictvím ADS-B OUT. Důležitými daty jsou vstupní informace získané z palubních zařízení. Vstupními informacemi jsou poloha letadla, rychlost letu a čas letu, stav letadla a cíl, kde má letadlo přistát. Veškeré tyto informace jsou přes vstupní rozhraní uloženy do vyrovnávací paměti. Posléze jsou zkontrolovány a následně se z nich sestaví a zakódují zprávy. Tyto zprávy se namodulují obvykle na 1090 MHz a jsou přes vysílací anténu vysílány do prostoru k jejich zachycení.

ADS-B IN

- systém schopný příjmu přicházející informace z automatického závislého přehledu. Informace jsou přijímány od ADS-B OUT za pomoci datových kanálů.



Obr. 16: ADS-B IN přijímání

Zprávy poslané do prostoru od ADS-B OUT jsou přijímány přijímací anténou. Přijímací anténa musí být naladěna na stejný kmitočet, na kterém byly zprávy vysílány, aby je mohla zachytit. Po zachycení zpráv následuje jejich demodulace. Následně pokračují do vyrovnávací paměti (Bufferu), vytvoří se kompletní funkční zprávy, které dále pokračují do klientské aplikace.

Tento přijímač nacházející se na palubě letadla ovšem nepřispívá žádnou významnou rolí v pohledu na přesnost či RNP. Pouze rozšiřuje informace získané na palubě letadla od SSR Módu S o přiblížení vzdušné situace v okolí letadla, jež podobně vidí i středisko řízení letového provozu. Je tedy zřejmé, že se jedná spíše o doplněk na palubě ve formě zobrazení vzdušné situace, než-li významný člen zasahující do bezpečnosti a přesnosti v samotné vzdušné situaci.

3.1.3. Formát ASTERIX

ASTERIX je formát binárních zpráv přehledových dat umožňující přenos harmonizovaných informací. Přesně definuje strukturu vyměňovaných dat mezi komunikačními médii. Každá část informace je přesně zakódována a tyto části jsou následně uspořádány do bloku dat. Veškeré zakódování probíhá bez jakékoli ztráty informace. Formát ASTERIX se stal standardem EUROCONTROLu a k přenosu kódované přehledové informace lze použít jakékoli komunikační médium jak WAN, LAN, internet a další.

Jsou ustanoveny minimální požadavky na aplikační úroveň z důvodu snadné a pohodlné výměny dat mezi různými aplikacemi. Na základně využití běžně používaných přehledových dat je možné komunikovat mezi dvěma různými systémy i v případě, že se každý nachází v jiné zemi. Pro konkrétní aplikaci a její přenos dat jsou datové položky seskupeny do kategorií. Celkově je možné nalézt až 256 kategorií, které jsou uvedeny v AMG (ASTERIX Maintenance Group). Každá kategorie má navíc několik částí alias parts obsahující sadu dokumentace a jednu či více skupin údajů. Každá kategorie se věnuje určité oblasti použití a určuje v jakém formátu údaje mají být přenášeny mezi uživateli.

Kategorie a jejich použití:

- 000 – 127 - standardní civilní a vojenské aplikace
- 128 – 240 - speciální civilní a vojenské aplikace
- 241 – 255 - civilní a vojenské nestandardní aplikace (nejsou součástí standardní dokumentace, jsou určené pro konkrétní uživatele)

Transmission of (Surveillance related Data)	From (Data Source)	ASTERIX Category to use
Monoradar target reports	PSR radar	Cat 048
	SSR radar	
	M-SSR radar	
	Mode-S station	
Monosensor target reports	ADS-B ground station	Cat 021
Monoradar target reports	Surface movement radar	Cat 010
Monoradar service messages	PSR radar	Cat 034
	SSR radar	
	M-SSR radar	
	Mode-S station	
Mode S surveillance coordination function messages	Mode-S station	Cat 017
Mode S datalink function messages	Mode-S station	Cat 018
Ground station service messages	ADS-B ground station	Cat 023
Monoradar service messages	Surface movement radar	Cat 010
Directed Interrogation Messages	Mode-S station	Cat 007
Monoradar weather information	Monoradar	Cat 008
TIS-B Management messages	ADS-B ground station	Cat 022
A-SMGCS data (target report, flight plan data, holdbar status)	SMGCS system	Cat 011
System track data	SDPS system	Cat 062
Sensor Status messages	SDPS system	Cat 063
SDPS Service status messages	SDPS system	Cat 065
Safety Nets Alarms	Safety Nets Server	Cat 004
Multilateration data	Multilateration ground stations	Cat 020
Multilateration System Status Messages	Multilateration ground stations	Cat 019
Digitised Raw Video Information	Rotating Radar	Cat 240
ASTERIX Version Information	Any system	Cat 247
Monoradar Target Reports	Precision Approach Radar (PAR)	Cat 012 (Reserved)
Monoradar Service and Status Messages	Precision Approach Radar (PAR)	Cat 013 (Reserved)
Monoradar Weather Reports	Precision Approach Radar (PAR)	Cat 014 (Reserved)

Monosensor Target Reports	ADS-C Ground Station	Cat 024
Foreign Object Debris (FOD)	Runway Debris Detection System (RDDS)	Cat 239 (Reserved)

Tab. 2: Přehled kategorií formátu ASTERIX ^[34]

Tento formát je především pro uživatele ATC. V dnešní době jej využívá většina států začleněných v ECAC. Využívají jej také průmysl sloužící ke stabilizování nových technologií. Také je tento formát začleněn do přehledových senzorů automatizovaných systémů jako jsou ARTAS, RMCDE, RADNET a další. Filozofií je distribuce všeho podle potřeb a zároveň s tím omezit či naprosto vyčlenit přenosu více informací než je nezbytně nutné. Kódované zprávy jsou generovány flexibilně, což umožní šetření přenosových pásem. Díky kategorizaci dat systém umožňuje pro různé aplikace provést přesně definovanou operaci, nic víc a nic míň. Pořadí položek ve zprávě je definované v tzv. UAP neboli v uživatelském rozhraní. Úkolem AMG je potom řídit a koordinovat údržbu a vývoj stávajících a nových kategorií. Tento fakt souvisí především s MLAT, technologií ADS-B a popřípadě stávajícími technologiemi, které je nutné změnit dle daných potřeb.

Z výše uvedené tabulky je zřejmé, že formát zprávy ASTERIX bude uveden pouze pro kategorii Cat 021 a Cat 023, týkající se systému ADS-B.

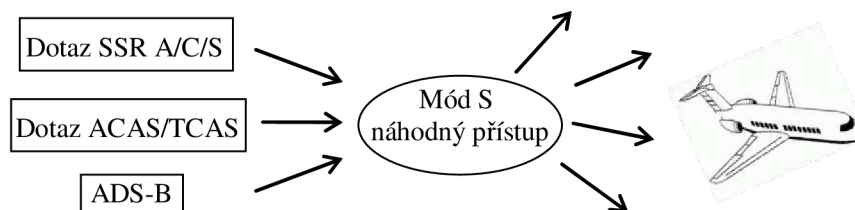
3.1.4. Datové kanály

- 1090ES (1090 MHz Extended Squitter Mode S)
- UAT (Universal Access Transceiver)
- VDL Mode 4 (Very High Frequency Digital Link Mode 4)

1090ES (1090 MHz Extended Squitter Mode S)

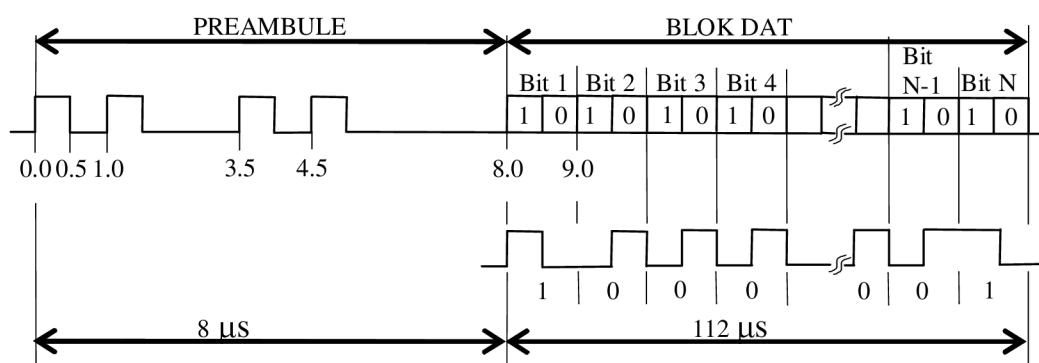
Tento druh datového spojení, tedy 1090ES, se stal standardem u velkých dopravních letadel. Jedním z hlavních důvodů bylo ekonomické hledisko. Představuje softwarově upravený stranspondér módu S. Systém je vytvořen pro letové hladiny vyšší než FL180 (18 000 ft).

Systém pracuje na podstatě Módu S u SSR, který byl vyvinut v polovině 70. let. Jedná se o „dotaz“ vyslaný na kmitočtu 1030 MHz a „odpověď“ na něj odeslaná na kmitočtu 1090 MHz. Organizací ICAO bylo definováno celkem 25 různých formátů jak pro dotazovací zprávy, tak 25 formátů pro odpovídací zprávy Módu S. Ne všechny jsou používány a přímo specifikovány. S myšlenkou budoucího možného využití se zavedly dva typy dotazů, které se od sebe liší svoji délkou, neboli počtem bitů. Jedním z nich je krátký formát, který má 56 bitů a druhým je dlouhý formát se 112 bity. Odpověď Módu S se skládá z tzv. preamble s vysílací dobou 8 μ s a obsahuje čtyři impulzy. A dále z bloku informací, u něhož se využívá binární impulsní modulace. Extended Squitter využívá těchto zavedených standardů a získal si místo odpovědi na 17. pozici. Od samotného Módu S se ovšem odlišuje. Hlavní odlišnost se skrývá v samotném odeslání. Na rozdíl od Módu S, který potřebuje ke své „aktivaci“ dotaz poslán na kmitočtu 1030 MHz z vnějšího prostředí, tak Extended Squitter žádnou vnější iniciativu k odeslání nepotřebuje. Jedná se tedy o spontánní vysílání odpovědi bez vnějších příčin. Nosný kmitočet je pouze jediný, a to 1090 MHz \pm 1MHz. Vysílaná odpověď je polarizována vertikálně obdobně jako u vysílání SSR Módu A/C nebo S popřípadě u vysílání TCAS (Protisrážkový systém). Rychlost pro přenos dat je ustanovena na 1 Mb·s⁻¹. Není zde zapotřebí žádné synchronizace nebo časového multiplexu z důvodu náhodného datového spojení. Délka či počet bitů je u Extended Squitter jasně dána a to délkou 112 bitů.



Obr. 17: Vysílání 1090ES

Vysílání u Extended Squitter probíhá podobně jako u Módu S. Skládá se z preamble o délce vysílání 8 μ s a obsahu 4 bitů a datové informaci již o délce 112 bitů. Každý bit je časové délky 1 μ s a je rozdělen na půl. To znamená, že buď vysílá v prvním a nebo ve druhém časovém intervalu bitu.

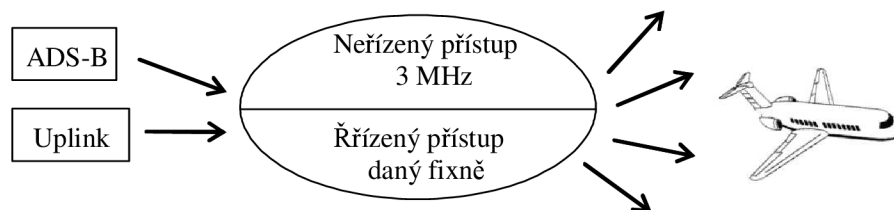


Obr. 18: Charakteristika seskládání impulsů

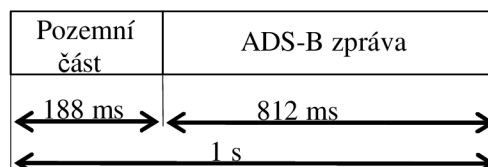
Blok Dat



Obr. 19: Blok dat



Obr. 21: Vysílání AUT



Obr. 22: Zpráva UAT

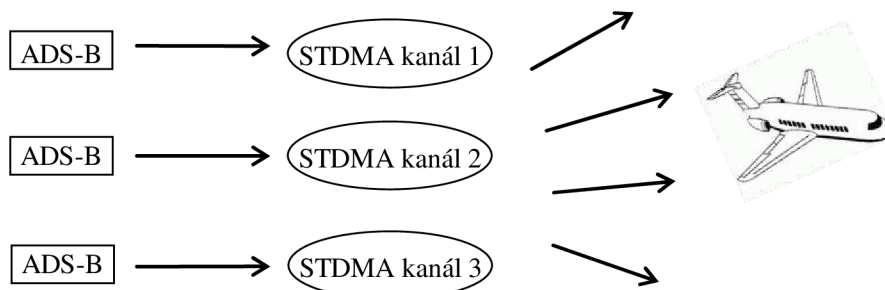
Řízení přístupu k datovému spojení tohoto typu se nazývá jako hybridní. Datové spojení je tedy řízené a zároveň i náhodné. Zpráva, která je rozdělena na dvě části bývá často v té první synchronizována. Důvodem synchronizace je zamezení překrývání vysílání. Překrýváním vysílání je myšleno překrytí vysílání od různých pozemních stanic. Tou druhou částí je náhodný přístup, kdy je vybrán jeden z typů MSO.

VDL Mode 4 (Very High Frequency Digital Link Mode 4)

VKV data link slouží jako předchozí k zasílání informací mezi letadlem a pozemní stanicí. Data linky mají různé módy, ale standardem od listopadu roku 2001 ICAO stanovilo Mód 4. Slouží pro sledování a na přenosy krátkých zpráv mezi velkým počtem uživatelů jak země-vzduch tak naopak vzduch-země a point-to-point komunikaci.

Mód 4 využívá modulaci na základě kmitočtového posunu, Gaussova filtrování a vícenásobného přístupu s časovým rozdělení. Je to nový systém který nevychází stejně jako UAT z žádných v minulosti hojně využívaných systémů. Pracuje na kmitočtovém pásmu 108 - 137 MHz, kde využívá kanály od sebe vzdálené o 25 kHz. Tento druh přenosu byl označen jako STDMA neboli Self Organizing Time Division Multiple Access. Jak název napovídá, jde o organizovaný přístup k jednotlivým kanálům. Každá stanice si vybere a rezervuje časový slot, na kterém bude vysílat a za něj je také příslušně zodpovědná. Probíhá tedy synchronizace daných rozvržených časových slotů za pomoci GNSS. Protože všechny stanice jsou synchronizovány a tím pádem mají stejný čas tohoto systému, mohou mezi sebou bez jakýchkoliv problémů komunikovat. Výhodou je, že ke svojí komunikaci nepotřebují žádnou řídicí stanici.

VKV pásmo je rozděleno na 4 500 časových slotů na nichž VDL Mode 4 vysílá rychlostí 19,2 kb/s a používá mobilní terminály. Mobilní terminály slouží k rezervaci časových slotů okamžitě po vysílání.



Obr. 23: Vysílání VDL Mode 4

3.1.5. Palubní vybavení ADS-B

Na palubě letadla musí být obsaženy základní části, které jsou:

- zdroj dat
- ADS-B přijímač
- ADS-B vysílač
- ADS-B zobrazení

Ve chvíli, kdy je letadlo zapojeno do používání systému ADS-B musí vysílat informace alespoň o svojí poloze. Informaci o svojí poloze vysílá bez jakéhokoliv vnějšího podnětu, dotazu. Z tohoto důvodu je zapotřebí, aby na palubě letadla byl zdroj dat a příslušný ADS-B vysílač. Pokud ale je zapotřebí plně využívat systém ADS-B, musí na letadle být všechny komponenty zmíněné výše.

Zdroj dat

Tímto je myšlena minimálně poloha letadla, která se tím pádem stává zdrojem dat pro vysílání. Mezi další možné zdroje dat patří např. identifikace letadla, kurz, vzdušná rychlost a další. Poloha letadla je zjištěna z navigačních přístrojů v letadle. Tím nejvhodnějším systémem je systém GNSS popřípadě jiný navigační systém, který letadlo vlastní se zabezpečenou příslušnou integritou. Obvykle ADS-B má již GNSS součástí systému.

ADS-B přijímač

Většina letadel je vybavena systémem ACAS/TCAS, díky nimž jsou vybavena přijímačem 1090 MHz. Letadlo může za pomoci Extended Squiter přijímat i vysílat. Ve většině zemí je používán 1090ES, jak již bylo zmíněno dříve pouze USA využívá UAT. V případě, kdy letadlo není vybaveno ACAS/TCAS musí se doplnit příslušný systém sloužící k příjmu dat.

ADS-B vysílač

Vysílání probíhá na Módu S 1090 MHz, proto stačí v příslušném vysílači přeladit z Módu S Short Squiter na Mód S Extended Squiter. Informace, neboli vysílaná data jsou brány ze zdroje dat. Pokud letadlo není vybaveno tímto druhem odpovídače, musí být zřízen a nainstalován příslušný odpovídač pro daný Mód S 1090ES. V USA se ovšem používá UAT a VDL Mode 4. Z tohoto důvodu je zapotřebí mít na palubě připraveny vysílače poskytující příslušné systémy k použití těchto datových kanálů.

ADS-B zobrazení

Zobrazení slouží pilotovi k dobré orientaci a informovanosti o okolních letadlech ve vzdušném prostoru. Zobrazení na displeji by mělo obsahovat vlastní polohu letadla, okolní vzdušný provoz, kurz, relativní výšku a zvolený dosah letadel. Vlastní poloha je znázorněna obvykle symbolem letadla popřípadě trojúhelníkem. Od ostatních letadel ve vzdušném prostoru musí být citelně rozeznatelný. Vždy je symbol vlastní polohy orientován po směru letu, lépe řečeno do polohy „dvanáct hodin“. Okolní vzdušný provoz letadel je vyobrazen za pomoci trojúhelníku s čárou vyznačující směr kurzu letadel a numerickou hodnotou relativní výšky letadla. Numerická hodnota ukazuje zda letí okolní letadla nad vlastním letadlem nebo pod vlastním letadlem znaménky + a -. Pokud nelze určit kurz okolních letadel, musí být v tabulce o nich informace.

Pokud vzdušný provoz přesahuje možnosti zobrazení displeje, musí být letadla mazána dle jistých pravidel. První jsou mazána letadla, která jsou ve velké vzdálenosti a následně provoz s největším časem do nejbližšího přiblížení a času, kdy se má dostat do stejné nadmořské výšky.



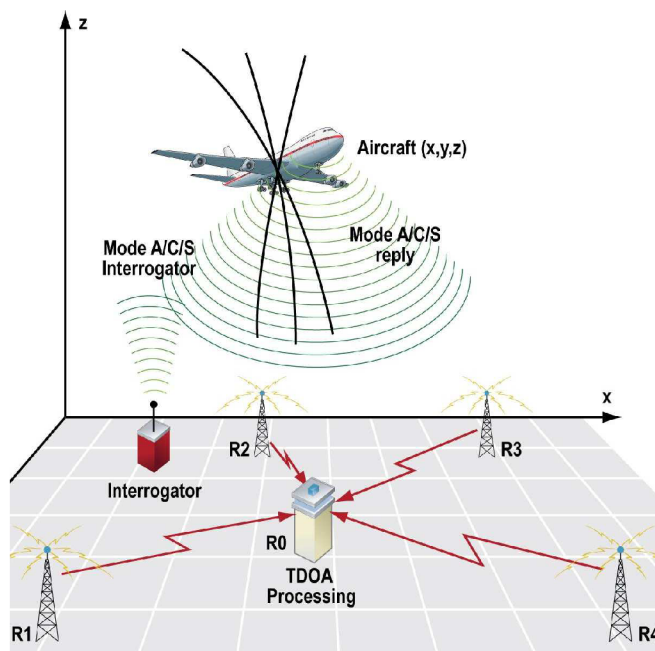
Obr. 24: Zobrazení ADS-B ^[23]

3.1.6. ADS-B & WAM

WAM neboli Wide-area multilateration obnáší systém určování polohy. Jedná se o přehledovou techniku využívající přenosů dat vysílaných z letadel na kmitočtu 1090 MHz. Polohy určuje tzv. hyperbolickým polohováním. K určení polohy využívá několik pozemních stanic a polohu získá díky měření časového rozdílu. Časový rozdíl v prostoru měří na čtyřech a více přijímacích stanicích, které přijímají signál vyslaný od daného cíle. Je ovšem potřebná přímá viditelnost na pozemní stanice. Ke své činnosti využívá informací nebo spíše dat ze sekundárního radaru, ale nevyužívá je stejně jako on, nýbrž naprosto jiným způsobem. Sekundární radar získává informace na základě dotazu, kdežto multilaterační systém pouze čeká na příjem radiového signálu. Z toho důvodu je velmi příznivé kombinovat sekundární radar spolu s multilaterací. Sníží se tím nedostatky a i rizika obou dvou systémů. Polohu cíle zjistí protnutím hyperboloidů. Jak bylo zmíněno, multilaterační systém není závislý na čase, vysílání probíhá jako sekundární radar, ale pouze na časovém rozdílu přijímaných signálů na daných pozemních stanicích. V případě využití více přijímačů než je zapotřebí se přesnost

polohy nezlepší, ale je možné ji zlepšit rozmístěním přijímačů a vzdáleností přijímače od vysílače.

Systém umí pracovat na kmitočtu 1090 MHz ES, umí přijmout zprávy z ADS-B a dokáže přijímat odpovědi od sekundárního radaru modu A, C nebo S. V důsledku této skutečnosti je systém WAM důležitou součástí kompatibilního systému pro zjišťování poloh cílů. Rozdílem od ADS-B je, že ADS-B stačí jediná stanice k pokrytí území pokud je v něm nainstalován i systém WAM. Je tedy zřejmé, že se velice často ADS-B kombinuje se systémem WAM.



Obr. 25: Princip MLAT^[30]

3.1.7. Výhody a nevýhody

Z výše popsaného systému vyplývá mnoho výhod, které slouží nejen pro piloty, ale také pro řídicího letového provozu. Mezi ně patří:

- pilot na své obrazovce si dokáže zobrazit spolehlivé a přesné informace o letounech kolem něj v reálném čase
- řídicí má přesné a spolehlivé informace o letadlech v reálném čase
- pilot i řídicí má stejné informace o letovém provozu a hlavně v reálném čase
- spolehlivé poskytování informací o poloze, výšce, rychlosti a směru letu
- letadla můžou dostávat informace o počasí prostřednictvím FIS-B v reálném čase
- terénní pokrytí zobrazitelné v kokpitu pro pilota
- přenáší čitelné informace o letu
- změny pohybů letadel v okolí jsou okamžité, tedy v reálném čase
- lepší předvídání času příletu a odletu
- jelikož jsou kmitočtové kanály užší, jsou v menších rozstupech
- zvýšená kapacita vzdušného provozu doprovázená zvýšenou efektivností. Příčinou jsou menší rozstupy v horizontálním i vertikálním směru
- zjištění a řešení nehod do vzdálenosti 100 NM od vysílače

- oproti radarům (PSR a SSR) je energeticky méně náročný
- zavádění je rychlejší a levnější
- použití na pojezdových drahách oproti letištnímu přehledovému radaru je nepřetržité, přesnější a levnější

Všechny výhody, ovšem skrývají i řadu *úskalí*, která u tohoto systému obnášejí:

- vstupní náklady při prvotním zavádění
- systém je oproti ostatním příliš mladý a je tedy zapotřebí jej řádně ověřit v praxi
- díky zavádění a instalaci systému bude mít letový provoz časové prostoje
- ověření správné funkčnosti systému je nemožné v místech, kde není pokrytí zabezpečeno i jinými systémy
- degradace systému v případě falešných cílů
- systém není schopen ověřit svou vlastní funkčnost při určování polohy a dalších

ADS-B lze využít jak na pozemní řízení dopravy tak na řízení vzdušné situace. Řízením pozemní dopravy není namysli pouze řízení letadla po plochách, ale i řízení vozidel pohybujících se po plochách.

3.2. ADS-C

Neboli Automatic Dependent Surveillance-Contract v překladu Automatický závislý přehled o vzdušné situaci-smlouva byla první forma systému ADS. Je také znám jako ADS-A neboli Automatic Dependent Surveillance- Addressed. Systém je závislý na tzv. „smlouvách“ tedy dohodách. Dohody jsou vytvářeny mezi pozemním stanovištěm řídicího letového provozu a avionikou letadla. Ve své podstatě jde o zasílání dat mezi letadlem a pozemní stanicí. ADS-C je závislý přehledový systém, jelikož pozemní stanice je závislá na zprávách od letadla, se kterými dále nakládá. Prvotní záměr se skrýval v poskytnutí dohledu nad letadly ve vzdušném prostoru bez jakéhokoliv pokrytí radary.

Systém využívá několik typů pravidelných dohod, které jsou založeny na čase a řídicí letového provozu je může dle svých potřeb měnit. Tyhle dohody mají sloužit ke snížení podélných i příčných rozstupů mezi letadly. Jednou z dohod je tzv. *pravidelná dohoda*, která je odeslána každých předepsaných x minut. Další je tzv. *akce či událost*. Jak název napovídá jde o nezbytnou zprávu v případě nastoupení jisté události např. při přechodu na waypoint dle letového plánu, stoupaní nebo klesání pod nebo nad danou letovou hladinu. Jedná se o upozornění, že se letoun odchýlil od osy svého letu nebo pokud například změnil rychlost svého letu. V poslední řadě se jedná o tzv. *dotaz*. Je to jednoduchá periodická zpráva typu požadavku z pozemní stanice. Dotaz řídicí pozemní stanice vyšle v případě, když si potřebuje zjistit kde se každý letoun nachází. Na následek dotazu budou uživatelé letového provozu iniciováni k zaslání odpovědi o svojí poloze. Díky tomu si řídicí můžou bez jakýchkoliv problémů aktualizovat své zobrazení a povědomí o vzdušné situaci.

Každá zpráva směrem z letadla na pozemní stanici obsahuje aktuální polohu a nadmořskou výšku, hladinu ve které letí. Pilot může systém ADS-C kdykoliv vypnout a také může v případě tísně zvolit tzv. *nouzový režim*. Tento nouzový režim naskýtá další možnost dohody ve smyslu SOS zprávy. Nenastavuje je jako všechny ostatní řídicí na pozemní stanici, nýbrž pilot přímo na palubě, aby dal informaci o svojí tísní a potřebě pomoci.

Z pozemní stanice lze tedy jen zasílat zprávy o změnách či zaslat dotaz. Samotný systém ADS-C ale nedokáže spolupracovat jako ADS-B s ostatními letouny ve vzdušném prostoru.

Dokáže spolupracovat tedy pouze dané letadlo a řídicí stanice na zemi. Je tu bohužel i časové zpoždění v ohledu zasílání protokolů, z tohoto důvodu prvotní záměr o zmenšení rozstupů není až tak aktuální.

Kromě výše zmíněných smluv, lze využít tento systém i k zasílání meteorologických informací. Hlavními informacemi jsou rychlost, směr a teplota větru, které jsou dostupné z palubního počítače. Bylo zjištěno, že informace získané od ADS-C v ohledu na meteorologickou situaci jsou přesnější než informace získané od běžných systémů.

Systém ADS-C ovšem není využíván v pevninských prostorách, tudíž ani v Evropě. Využívání se zaměřuje spíše na oceánské prostory, z tohoto důvodu nebude tento systém více rozebírán.

3.3. TIS-B a FIS-B

TIS-B

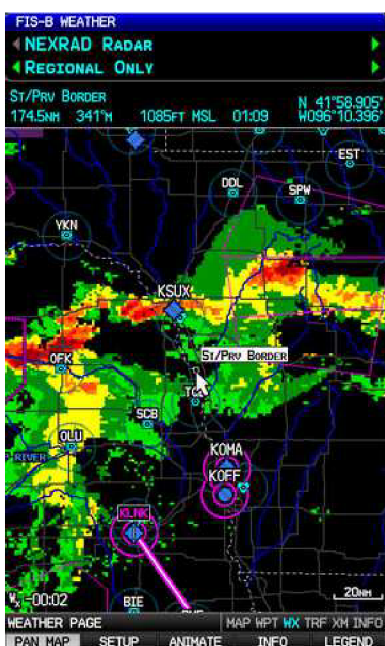
TIS-B (Traffic Information Service – Broadcast) tedy dopravní informační servis-vysílání poskytuje informace o korelovaném provozu letadlům s ADS-B IN bez nutnosti ATC. Pilot vidím téměř v reálném čase pozice blízkých letadel, což vede k zamezení jejich možné kolize.

Informace lze přenášet jak přes 1090ES tak i přes UAT datové spojení. Aby bylo možné TIS-B využívat, musí být paluba letadla příslušně vybavena a letět v oblasti radarového pokrytí SSR Módu S.

FIS-B

FIS-B (Flight Information Services-Broadcast) je služba zajišťující informace o aktuálním počasí. Slouží také k přeposílání zpráv NOTAM, ATIS a podobných. V USA je tato informace předávána na datovém spojení AUT, ale bohužel v pásmu 1090ES nelze tuto službu poskytovat v tak velkém rozsahu.

Pilotovi na palubě se informace z této služby ocitnou jak v textové tak i grafické podobě. Je zde i možnost předání meteorologických údajů z paluby na středisko řízení letového provozu popřípadě ostatním letadlům v blízkém okolí.



Obr. 26: Zobrazení FIS-B ^[24]



Obr. 27: Zobrazení SIGMET ^[24]

3.4. Shrnutí kapitoly

Výše zmíněná kapitola se týká přiblížení systému ADS-B. V první řadě je zde zmíněna podstata vzniku samotného systému a její specifikace. Spíše se ale kapitola zabývá palubní částí, než-li pozemní částí. Je zde rozebrána funkčnost systémů obecně a k tomu příslušející vybavení letadla k využívání samotného systému. Palubní vybavení sestává z ADS-B OUT sloužící k odesílání informací do vzdušného prostoru, tedy jak ostatním letadlům, tak středisku řízení letového provozu. Dalším článkem je zobrazovací jednotka k poskytnutí přehledové informace o okolním vzdušném provozu kolem letadla. Jako další tedy poslední část je ADS-B IN. ADS-B IN slouží především k příjmu informací ze střediska letového provozu.

V další části kapitoly jsou rozebrány datové kanály, se kterými systém ADS-B může pracovat. Mezi ně patří především 1090ES využívaný v oblasti Evropy, UAT využívaný pouze v USA a možný budoucí nástupce VDL Mode 4, který zahrnuje organizovaný přístup k jednotlivým kanálům. Dále je rozebráno palubní vybavení a pojednáno o multilateraci. Multilaterace společně s ADS-B je hojně využívána. V neposlední řadě jsou v kapitole vytyčeny některé z hlavních výhod a nevýhod celého systému ADS-B. Je zde zmínka i o systému ADS-C, který je předchůdcem systému ADS-B. Princip funkce spočívá v tzv. „smlouvách“ mezi pozemním stanovištěm řídicího letového provozu a avionikou letadla. V závěru kapitoly je pojednáno o službách TIS-B a FIS-B jež ADS-B bude poskytovat.

Z výše uvedených faktů lze zhodnotit palubní systém ADS-B jako méně přínosný z pohledu samotného pilota. Je to spíše doplňková informace týkající se přehledové situace vzdušného prostoru. Pilot vidí na svém displeji téměř identickou skutečnost vzdušné situace podobně jako řídicí letového provozu ve svém pracovním středisku na zemi. Žádným valným účinkem tedy nepřispívá k přesnosti, RNP popřípadě RNAV. Z tohoto důvodu se práce s podtitulem možnosti využití ADS-B bude situovat především na pozemní část a s tím spojené veškeré potřebné zázemí.

4. Možnosti využití ADS-B

Jak již bylo zmíněno výše ve shrnutí kapitoly č. 3, možnosti využití ADS-B budou aplikovány především na pozemní část, tedy na stanoviště řízení letového provozu. Dále bude práce zaměřena na jejich možné využití a především zhodnocení požadavků na dostupnost, nepřetržitost, přesnost, integritu, funkčnost, vybavení a také zhodnocení z pohledu ekonomické stránky. Veškerá tato fakta při zhodnocení budou aplikována na Letiště Václava Havla Praha. Dále toto letiště bude nazýváno Praha-Ruzyně.

4.1. Časový harmonogram ADS-B

Od konce roku 2008 bylo ADS-B od FAA začleněno k používání. Díky tomu by se mělo docílit zvýšení efektivnosti letecké dopravy. Ale nejen to, mělo by se snížit riziko kolizí ve vzdušném prostoru a nehody, které by mohly být zapříčiněny nepříznivým počasím.

V dnešní době se jedná o perspektivní systém, který je součástí programu NextGen v USA. V budoucnu by dle něj měla být řízena veškerá letecká doprava. Do roku 2020 by všechna letadla měla být vybavena ADS-B systémy a v případě nově zkonstruovaných letadel by měly být systémem již vybaveny automaticky.

Pro Evropu je zavedení prozatím stanoveno na rok rokem 2017. V případě nových letounů musí být systémem zaveden již do konce roku 2015. Ovšem ve srovnání zavedení v Evropě a USA jsou další odlišnosti. Odlišnosti se skrývají v plošném zavedení, které se týká USA. Naopak v Evropě se s nařízením budou potýkat pouze letouny s maximální vzletovou hmotností větší než 5700kg popřípadě překračující cestovní rychlost 250kt .

První zemí, která pokryla systémem ADS-B celé své území, je Austrálie. Na svém území má cca 57 pozemních vysílacích a přijímacích stanic, ovšem pouze nad letovou hladinu 300FL .

Další významnou zemí využívající nad svým vzdušným prostorem systém ADS-B se stala v roce 2009 Kanada. V dnešní době tento systém používá v oblasti Hudsonova zálivu a oceánských oblastech. Další očekávané aplikace směřují k pokrytí zbývajících území Kanady a arktické oblasti.

Největší a prozatím nejúspěšnější pokrytí systémem ADS-B patří americké firmě ADS-B Technologies, která v roce 2009 instalovala systém v Číně. Jedná se tedy o první instalaci UAT mimo území USA. Celý provoz v Číně zabezpečený tímto systémem doposud naprosto vyhovuje a neproběhl díky němu žádný incident.

I Švédsko nezůstalo stranou a se systémem ADS-B od roku 2006 začalo disponovat za pomoci firmy LfV Group. Celá síť složená ze 12-ti pozemních stanic byla ve všech ohledech způsobilá v roce 2007. U tohoto typu signálu, jelikož se jedná o Evropu, se pracuje na datovém toku VDL Mode 4. Díky tomu pozemní stanice podporují nejen ADS-B, ale i služby jako jsou TIS-B a FIS-B.

Na Islandu, Grónsku a Faerských ostrovech je rozmístěno od roku 2010 18 pozemních stanic mapující vzdušnou situaci nad severním Atlantikem.

Systém ADS-B je možné použít i mimo letadla a to v mobilních prostředcích, které se pohybují po plochách. Řídící na svém stanovišti tedy naprosto přesně vidí, kde se jaký mobilní prostředek nachází. Především této aplikaci využívají samotní řidiči mobilních prostředků k vyššímu zabezpečení provozu a eliminaci následných možných kolizí na plochách.

4.2. Klasické řízení letového provozu v CTR a po ploše

4.2.1. Vzdušný prostor ČR

Vzdušný prostor celé České Republiky je vertikálně i horizontálně rozdělen. Horizontálními hranicemi je rozdělen do čtyř specifických tříd označených jako C, D, E a G a jsou srovnatelné s doporučenými třídami od ICAO. Všechny třídy se od sebe liší a jsou v nich stanoveny pravidla jako:

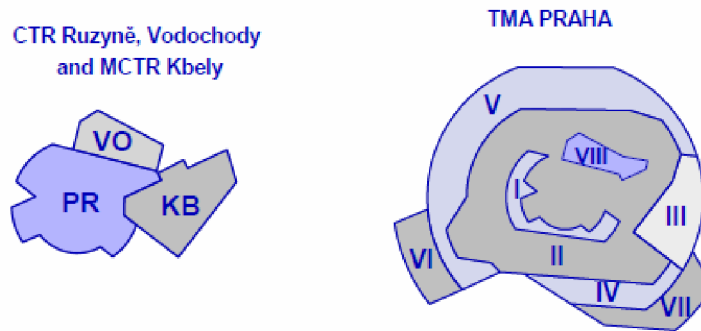
- typy letů, které je možné v daném vzdušném prostoru dané třídy vykonávat (VFR, IFR)
- jaké služby jsou poskytovány od řízení letového provozu
- ustanovené minimální meteorologické podmínky pro lety VFR
- omezení rychlosti, pokud je ustanoveno
- požadavky vyčleněné pro radiové spojení
- nutnost podat letový plán, tedy zda let podléhá letovému povolení

V okolí velkých letišť s řízeným provozem jsou navíc definované oblasti, které jsou vymezené jak horizontálně tak vertikálně na leteckých mapách. Jednou z nich je Control Zone (CTR) neboli Řízený okrsok a další Terminal Manouvering Area (TMA) neboli Koncová řízená oblast. Od země CTR na letišti v Praha-Ruzyně, jelikož je menší, sahá do 3500 *ft* (cca okruh průměru 9 *NM*) a následné TMA, které je v horizontální rovině větší pak do FL165. Ovšem TMA nemá spodní základnu na zemi, ale začíná nad CTR, tudíž od 3500 *ft*. Je patrné z přílohy č. 3: Třídy a oblasti vzdušného prostoru Praha v pohledu na tvar CTR i TMA nejsou kružnice, ale jisté obrazce, které jsou definovány body a oblouky v okolí radiomajáků. V oblasti CTR se letecký provoz řídí zásadně z věže (TWR), v oblasti TMA řízení přebírá přiblížovací služba (APP) a mimo TMA pak řídí celý provoz oblastní služba řízení letového provozu.

Konkrétně CTR na letišti Praha-Ruzyně má specifický tvar, který je dán několika CTR mezi něž patří CTR Ruzyně, CTR Vodochody a MCTR (military CTR – vojenské CTR) Kbely. Třídy vzdušného prostoru, které se zde využívají jsou:

- třída C (v řízeném okrsku CTR)
- třída D (v koncové řízené oblasti TMA)

Třída C je definována nad hranicí FL125 v oblasti TMA, třída D pak v oblasti FL85 – FL125, CTR a TMA mimo Prahu. Tyto třídy jsou pro diplomovou práci stěžejní. Jako další třídy vzdušného prostoru jsou využívány třídy E a F. Třída E se rozpíná od 1000 *ft* do FL85 a třída G pak od země do 1000 *ft*. Veškerá omezení, poskytované služby a další, jsou uvedeny v příloze č. 4: Tabulka tříd vzdušných prostorů s vymezením služeb, omezení rychlosti atd.

Obr. 28: CTR a TMA Praha^[32]

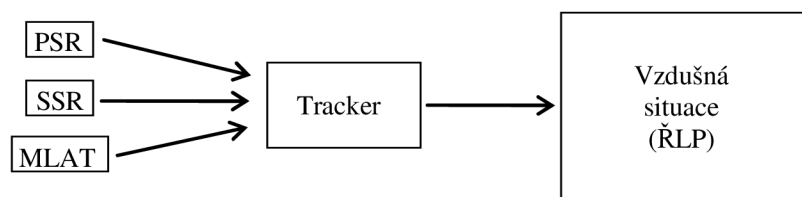
Kromě rozdělení vzdušného prostoru na třídy a oblasti jsou dále využívány tzv. *zakázané, omezené, nebezpečné a dočasně omezené prostory*. Jedná se o prostory, do kterých je vstup buď stále, či po jeho aktivaci, omezen. Jsou vymezeny podobně jako u TMA pouze s rozdílem, že jsou odlišně označeny. Do zakázaných prostorů patří například elektrárny, historické památky či Pražský hrad a případě nebezpečné prostory, které v ČR nejsou.

V dnešní době je na zemi již natolik precizně zbudovaná radarová síť společně se zavedenou multilaterací, že je možné předpokládat vysokou spolehlivost, bezpečnost, funkčnost i nepřetržitost. Ovšem všechna tato hlediska spolu s dalšími nejsou pro budoucí letecký provoz dostačující a proto se zavádějí další systémy.

4.2.2. Klasické řízení letového provozu v CTR a TMA

Řídicí letového provozu k naplnění své pracovní činnosti potřebuje znát vzdušnou situaci pro svůj řídicí sektor. Jakmile zná vzdušnou situaci, je schopen zabránit srážkám nejen mezi letadly, což je jeho prvotní činnost, ale i srážkám letadel s překážkami na provozních plochách. Přesně řečeno má za úkol navigovat letadla na dané letové trase a napomáhat jim v různých očekávaných i neočekávaných situacích. Jeho další náplní práce je udržet tok letového provozu pořádaný a především rychlý.

Běžně dnes do celého systému, který vyhodnotí a zobrazí řídicímu letového provozu vzdušnou situaci tzv. trackeru, vstupují informace z PSR, SSR a také z MLAT.



Obr. 29: Zpracování informací

PSR tedy primární radary jsou používány pro přehled letadel ve vzdušném prostoru. Jedná se o prvním článek vstupující do trackeru. Princip funkce se sestává v zachycování odraženého signálu od cíle. Primární radar vyšle signál ve formě elektromagnetické vlny, která se odrazí od cíle a tím se vrací zpět na přijímací anténu, kde je zpracována. Poloha cíle se získá výpočetní metodikou dle aktuální polohy antény společně s rozdílem časů od vyslání do příjmu signálu. Pro svoji funkci primární radar nepotřebuje náročné zázemí na palubě letadla. Letadlo samo aniž by něco tušilo vyslaný signál odrazí. Postačující pro získání informace o daném letadle ve vzdušném prostoru je tedy pozemní radarová síť. Díky PSR řídicí na svém stanovišti vidí polohu a směr cíle. Aktualizace polohy cíle je odvislá

od vychýlení antény. Vychýlení se dříve provádělo mechanicky, obvykle kruhovým pohybem ve směru hodinových ručiček, ale dnes se převážně provádí elektronickým vychýleným paprskem. Bohužel se nejedná o reálnou informaci, ale informaci zpožděnou v čase. Aktualizace obrazu vzdušné situace v koncových řízených oblastech musí probíhat častěji než u běžných primárních radarů a to zhruba 1-krát za 4-6 sekund. Z tohoto pohledu je tedy nezbytné, aby rozstup mezi letadly byl konstantní a to $5NM$ (cca $9,3km$) a kde to situace umožňuje tak $3NM$. Výše zmíněnými parametry není kapacita vzdušného prostoru dostatečně vyčerpána. Řídící ani nezíská žádné další informace o cíli, což pro něj také není vhodné. Výhodou primárních radarů je služba detekce oblačnosti popřípadě silných srážek. Ovšem naskýtají se také nevýhody jako například detekce falešných cílů, vysoká energetická náročnost systému či rušení způsobené meteorologickými podmínkami. Další podstatnou nevýhodou je samotná odrazová plocha cíle. Při některých manévrech může být odrazová plocha cíle natolik nedostačující, že PSR nemusí cíl detekovat, tudíž jej řídící na svém obrazu vzdušné situace ani nevidí.

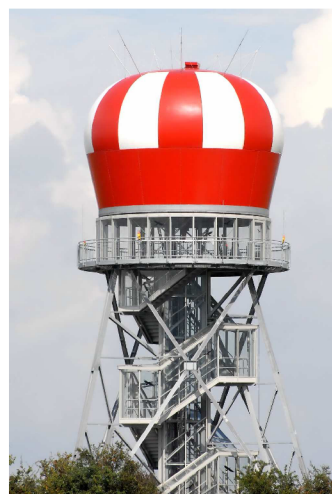
Na Letišti Praha Ruzyně je využíván primární přehledový radar pro koncové řízené oblasti *TAR*, typ *STAR2000*, který byl dodán firmou Thales. Radar má 16 paralelních vysílačů, přičemž každý z nich má výkon $2kW$. Vysílací výkon tedy činí $32kW$. Frekvenční rozsah se pohybuje od $2750MHz$ až po $2850MHz$. Radar nepoužívá, stejně jako jeho předchůdci, tzv. magnetron, který generuje vysokofrekvenční impulzy za pomoci samooscilující elektronky, ale přesný základní oscilátor a ke generování výkonu pro vysílání lineární výkonový zesilovač. Maximální dosah radaru je $80NM$, minimální dosah $0,25NM$ a vertikální pokrytí sahá do $30000ft$. Anténa poskytuje horizontální šířku svazku $1,3^\circ$, její rychlost otáčení je $15ot \cdot min^{-1}$ a je schopná jak kruhové, tak i vertikální polarizace. Přijímač poskytuje přesnost v azimutu $0,12^\circ$, rozlišovací schopnost $2,3^\circ$ a šířku impulzu $1\mu s / 98\mu s$. K vysílání pulzů využívá tzv. kompresy impulzu. Důležitými požadavky jsou co nejmenší šířka vysílacího impulzu a spolu s tím také ozáření cíle v nejdelším možném časovém intervalu. Šířkou impulzu se projevuje rozlišovací schopnost radaru na dálku a ozáření má vliv na energii cíle, kterou je zapotřebí mít co největší. Energie cíle je doba ozáření cíle vynásobená výkonem, který se vyzařuje. Šířka impulzu $1\mu s$ se používá pro ozáření v blízké oblasti a šířka impulzu $98\mu s$ se používá naopak pro ozáření vzdálených oblastí. V okamžiku příjmu delšího impulzu je tento impulz časově komprimován (prochází přes zpožďovací člen) a dostává se na výstup, kde je z něj vytvořen krátký impulz. Výhody se ukazují především v nižším vyzařovacím výkonu.

Další částí vstupující do trackeru je **SSR** neboli data ze sekundárního radaru. Důvodem pro jeho zařazení je získání podrobnějších informací o cíli. Využití sekundárního radaru je mnohem širší než je tomu u PSR. Hlavním úkolem SSR je určování polohy cíle, a další potřebné informace jako identifikace letadla, flight level a v případě použití Modu S i dalších jiných informací, čímž se komunikace letadla a řídící mnohonásobně usnadní. Principiálně funguje v režimu dotaz a odpověď. Z výše zmíněného je zřejmé, že zázemí pro fungování je náročnější. Nestačí pouze vysílací stanice pro dotaz, umístěná na zemi, ale i na palubě musí být instalován tzv. odpovídač pro odeslání odpovědi na přijatý dotaz. Pozemní část sekundárního radaru je složité zařízení sestávající se z několika otáčejících se antén obvykle pevně spojených s anténami primárních radarů. Informace o cíli je přesnější a není zapotřebí vysílat signál o takovém výkonu jako tomu je u PSR. I řídícím sekundární radar umožní mnohem efektivnější řízení a kontrolu nad letadly. Ale stále se řídící potýká s časově zpožděnou informací o cíli a tuto informaci je možné přijmout pouze radarem, který příslušný dotaz vyslal.

SSR na letišti Praha Ruzyně využívá *MSSR*, typ *RSM970S*. Maximální dosah radaru je 256NM a minimální $0,25\text{NM}$. Frekvenční rozsah se pohybuje je 1030MHz a 1090MHz . Anténa je vertikálně polarizována, poskytující horizontální šířku svazku $2,4^\circ$, otáčí se rychlostí až $15\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$. Přesnost v azimutu je $0,07^\circ$ a v dálce pro SSR je to méně než 30m a pro mód S je to méně než 15m . V pohledu na max. počet zpracovaných cílů je zapotřebí odlišit sektory a případ jednoho scanu. V sektoru $3,5^\circ$ dokáže zpracovávat až 40 cílů, v sektoru 45° až 200 cílů a na jeden scan zvládne zpracovat až 800 cílů.

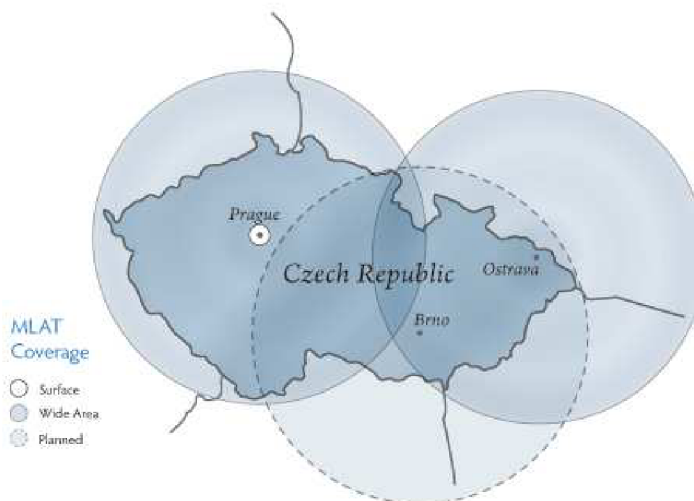


Obr.30: TAR STAR 2000 a RSM 970S ^[28]



Obr. 31: Radar Praha ^[29]

Posledním subsystémem vstupujícím do trackeru je **MLAT** tedy multilaterace. Dnes se na letišti Praha Ruzyně využívá pasivní systém (MLAT) *P3D-WS* k detekci polohy cíle ve vzdušném prostoru. Princip funkce je podobný jako u systému Tamara, jehož výrobce, stejně jako výrobce systému *P3D-WS*, je firma ERA Pardubice.



Obr. 32: Pokrytí MLAT v ČR ^[31]

Na obr. 31 lze vidět propojení oblasti Praha s oblastí Ostrava, kde *P3D-WS* úspěšně již několik let funguje. Je zde začleněno i budoucí propojení s oblastí Brno, kde se *P3D-WS* instaluje a čeká na certifikaci.

Systém P3D-WS pracuje v módech A/C/S a společně s tím spolupracuje i s ADS-B. Předpokládaný dosah je 120NM . Celý systém po ČR má rozmístěno 9 vysílačů, přijímač a 2 testovací odpovídače rozmístěny takto:

- centrální se nachází v Jenči, na objektu IATCC (Rx, Tx)
- Ještěd, na objektu Radiokomunikací (Rx, Test)
- Česká Lípa, na objektu Telefónica O2 (Rx)
- Jedlová Hora, na objektu Radiokomunikací (Rx)
- Kopec Písek, na objektu ŘLP ČR (Rx, Test)
- Jirná, na objektu EUROTEL (Rx)
- Litický Chlum, na objektu Radiokomunikací (Rx)
- Šibeník, na objektu EUROTEL (Rx)

, kde Rx značí vysílač, Tx přijímač a Test pak testovací odpovídač.



Obr.33: Anténa boční stanice P3D-WS v Jedlové Hoře ^[29]

Tyto tři systémy vstupují do **trackeru**, což je sekundární zpracování veškerých dat. Před tímto procesem ale probíhá ještě primární zpracování dat, které analyzuje přijaté signály. Díky takto provedené prvotní analýze se rozlišují pravé cíle od šumů a cílům se přiřazují souřadnice popřípadě další potřebné informace. V prvotní fázi dochází tedy k filtraci signálu (odrušení nežádoucích šumů), detekci cíle a extrakci (sdružení všech potřebných informací o cíli včetně polohy). Obvykle se primární zpracování, které probíhá přímo v radiolokačním zařízení, provádí pomocí jednoho měření a získává se tzv. plot. Ten pokračuje v digitální formě do dalšího, sekundárního zpracování. Je tedy jasné, že v primárním zpracování se získá pouze okamžitá poloha cílů s potřebnými parametry.

Tracker je ve své podstatě počítač zpracovávající několik po sobě jdoucích reportů o cílech. Zpracováním těchto reportů je získána trajektorie letů společně s jejich parametry. Tyto výstupy se označují jako tracky. Hlavními údaji tracků jsou především polohy cílů, dráhy letů, směry a rychlosti letů. Posledním článkem je pak terciární zpracování dat, jež se zabývá využíváním dat z více zdrojů. Jde tedy o přepočítávání poloh cílů, které jsou sledovány různými radarovými systémy. Výsledek takto získaných tracků se následně zobrazí na obrazovce řídicímu letového provozu daného vzdušného prostoru.

V dnešní době se ale využívá tzv. multisenzorový systém, který pokrývá mnohem větší oblasti a území. Díky tomu se jedná o přesnější výpočet polohy a dalších parametrů cílů. Je

zde vyšší odolnost v pohledu na rušení a mnohonásobně menší počet falešných cílů a k nim příslušejících tracků. Způsobeno je to právě vstupem více zdrojů informací, kdy jeden každý zdroj je v jistém aspektu přesnější než ten další. Problém se ovšem naskytá v časovém rozložení všech vstupujících zdrojů. Každý zdroj má totiž svoje odlišné chybové charakteristiky a proto jsou ploty přijímány v různých nepravidelných časových intervalech. Pro obnovu tracku tvořeného ze vstupních zdrojů je zapotřebí tyto časově rozlišené údaje sladit. Ke sladění se používají velice složité trackingové algoritmy, jejichž princip je založen na tzv. Kalmánových filtrech. V dnešní době se k tomuto účelu používá systém zvaný ARTAS (ATM surveillance Tracker and Server), který slouží k přenosům, shromažďování a zobrazování výsledků terciárního zpracování radarových dat. Řídící letového provozu po té na své obrazovce vidí systémové tracky v pravidelných intervalech nezávislých na otáčkách radaru a aktualizovaných přibližně každých 4–6s. Ovšem údaje od poslední aktualizace, která byla přijata plotem, do doby kdy se informace zobrazí, je tyto údaje nezbytně nutné extrapolovat. Zmíněná aktualizace neprobíhá najednou pro celou obrazovku, nýbrž po jistých výsečích obrazovky okolo předem stanoveného bodu (středu). Graficky tedy působí jako běžný radar.

ARTAS, jak již bylo zmíněno výše, je systém k přenášení, shromažďování a zobrazování výsledků z terciárního zpracování dat. Organizace EUROCONTROL přišla s podnětem pro vývoj programů EATCHIP (program harmonizace a integrace ATS služeb na území ECAC) a ATM2000+ (cílem je ekonomický, rychlý, uspořádaný a především bezpečný tok letového provozu), kde má dojít k postupné integraci zpracování sledovacích dat u evropských systémů. Implementace tohoto systému se považuje za nutnou podmínku pro zlepšení ATM koordinaci a především pro jednotné minimální radarové rozstupy na území celé Evropy. ARTAS se skládá ze tří hlavních částí.

- 1) *Tracker*
- 2) *Server*
- 3) *System manager*

Ad 1) Tracker

Tracker slouží ke zpracovávání dat vstupujících z radiolokátorů a snaží se takto získaný obraz vzdušné situace udržet co nejaktuálnější. Subsystem z několika radarů zpracovává ploty (nebo tracky), které dále slouží k vybudování tzv. systémových tracků a ty jsou zavedeny do databází tracků. Vstupní radarová data jsou brána z různých místních sítí sloužících k přenosu radarových dat. Samozřejmě se berou v úvahu i různé typy radarů jako PSR, SSR a také se do budoucna předpokládá s využitím pro jiné zdroje sledování např. ADS-B. Těmito jinými zdroji, tedy ADS-B, se zabývá verze V7. Na letišti Praha Ruzyně do něj vstupuje PSR, SSR a společně s tím MLAT.

Tím nejdůležitějším prvkem Trackeru je MRT (Multi-Radar Tracking). Jedná se o funkci, která jak zahajuje, tak i obnovuje všechny tracky. Tato skutečnost probíhá od příchozích plotů ze zdrojů dat. MRT funguje na tzv. metodě proměnné obnovy spočívající v aktualizaci každého tracku hned jakmile je obdrženo plot a to z jakéhokoli zúčastněného radaru. Tracker v sobě skrývá i další různé metody např. pro zjištění falešných tracků.

Ad 2) Server

Server poskytuje uživatelům některé z dat v databázi tracků a radarů a současně s tím vykonává funkci spojitosti. Tyto fakta vedou k integraci a funkčnosti jednotlivých částí. Je zde dle výběrových kritérií zpřístupněna uživateli přesně definovaná informace, kterou on v danou chvíli potřebuje a také si uživatel může vybrat přímo čidlo, ze kterého informaci chce

získat. Informace, kterou chce uživatel získat a týká se letového plánu, lze přidružit k trackům v dané databázi. Takto přidružená informace k tracku tedy umožní označovat tracky. Pokud se nebude brát v potaz počet jednotek Artasu, ale bude uvažován jako jeden systém, lze hovořit o funkcích spojitosti ve dvou směrech. Prvním je funkce spojitosti trackingu a tou další funkce spojitosti služeb. Každá umožňuje různé funkce a přesto obě jsou jeho velmi důležitou součástí.

Funkce spojitosti trackingu obnáší předložení uživateli jednoznačného a soudržného obrazu vzdušné situace v dané oblasti vzdušného prostoru. Jde tedy o splnění podmínky spojitosti a jednoznačnosti každého tracku, ve chvíli přechodu z jedné jednotky na druhou. Dochází tím pádem k nutnému vyhlazování trajektorií letadel, které se provádí aby nedocházelo k náhlým skokům v tracku.

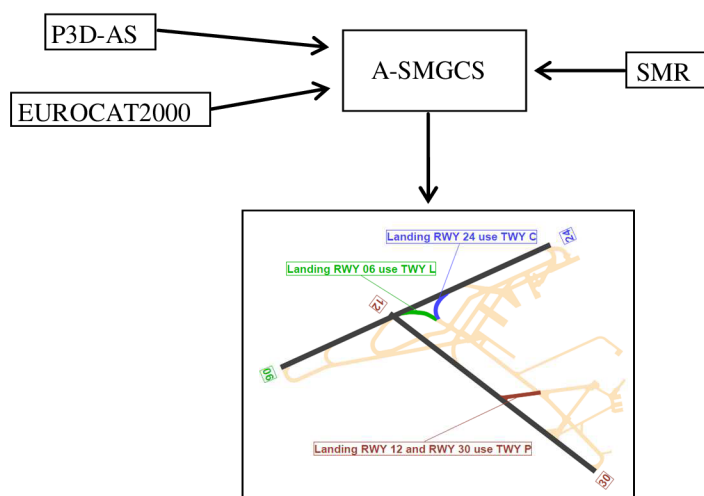
Druhá podmínka spojitosti, tedy spojitost funkce služeb, má za úkol v celé oblasti jednotky a hlavně v části přechodu oblasti, kde je překročena sousední jednotka, zamezit výskytu rušení popřípadě omezení služeb. Pokud by tato situace mohla nastat, musí jednotka zabezpečit poskytnutí informací ze sousední jednotky bez připojení uživatele na více než jednu jednotku.

Ad 3) System management

Tato třetí hlavní část ARTASu zahrnuje všechny funkce potřebné pro operativní i technickou správu celého systému. Může být tedy považován za správce systému. Tím nejdůležitějším úkolem pro správce je dohled spočívající ve vykonávání funkčního managementu ARTAS aplikací. Jedná se ve své podstatě o řízení a správu celé jednotky. Mezi jeho další úkoly je možné zařadit např. sledování dostupnosti, správa konfigurace nebo zajištění správných funkcí aplikací.

4.2.3. Klasické řízení po letištních plochách

Letadla musejí být po letištních plochách naváděna na své koncové stanoviště zastavení, tedy stojánky (approns) popřípadě naopak, kdy letadlo ze stojánky potřebuje navést přes letištní plochy k místu odletu, tedy na RWY. K tomuto účelu se u navádění letadel využívají polohové informace získané ze systémů EUROCAT2000, multilateračního systému P3D-AS a také z letištního pojezdového radaru neboli SMR. Všechny takto získané informace jsou poté v systému A-SMGCS zpracovány a zobrazeny řídicímu na jeho zobrazovací jednotce, jak popisuje Obr. 33 uvedený níže.



Obr. 34: Zpracování informací a zobrazení pohybu po ploše

P3D-AS je systém, pod jehož názvem se skrývá multilaterace, která byla popsána v dřívějších kapitolách. Systém se zaměřuje především na sledování horizontální polohy cílů na letištních provozních plochách. Dále se také zaměřuje na lety v blízkosti RWY cca do vzdálenosti $2,5NM$, používá se také při přistání a vzletu, při pojíždění a stání letadel. P3D nepotřebuje žádnou operátorskou službu, tudíž je tzv. bezobslužný. Lze vyhodnotit kódy odpovědí SSR a tím identifikovat cíle. Z módu S lze pak získat jedinečné a nezaměnitelné 24-bitové adresy cílů. Následuje sekundární zpracování, což obnáší sestavení trackings a výstupních zpráv o daných cílech. Pokud cíle vysílají jen v módu S (krátkou či dlouhou zprávu), je systém P3D pro tuto situaci vybaven dvěma dotazovači DUB. Dotazovače jsou zkonstruovány ze všesměrových antén s nízkou opakovací frekvencí a vysílají adresné dotazy, které slouží k získání identifikačních kódů cílů. Dotazovače mají i své vlastní adresy módu S a fungují i jako dotazovací, doplněné o informace z dalších systému jako je SSR.

Celý systém P3D-AS je na letišti Praha-Ruzyně dodán firmou ERA a.s. od roku 2004. Signály z odpovídačů módu S, které jsou v letadle a ze všech zařízení vysílající ADS-B Squitter, obchodně označovaných SQUID, která jsou umístěna na pozemních prostředcích, jsou tímto systémem zpracovány. Veškeré pozice jsou získávány dle výpočtových postupů multilaterace uvedených v kapitole výše. Přesnost tohoto systému na pojížděcích drahách a také na RWY dosahuje hodnoty zhruba $3,5m$.

EUROCAT2000 (E2000) slouží ke zpracování radarových dat, letových informací, dat letových plánů a také zajišťuje řídicím letového provozu jejich pracovní rozhraní. Příslušné kódy odpovídačů SSR systém automaticky přiřadí ke konkrétním údajům z konkrétních letových plánů. Dalším úkolem systému je organizování uspořádání letového provozu v daném sektoru a pracuje i se stripy, tedy letovými proužky. Systém je velmi spolehlivý i z hlediska detekování možných blížících se konfliktů, varuje před přiblížením k/do zakázaného prostoru a také varuje před možnou havárií v případě přiblížení se k terénu. Tato situace je platná pro CTR a TMA Praha Ruzyně, tzn. pro služby řízení TWR (letištní řízení) a APP (přibližovací služba řízení).

SMR (Surface Movement Radar) neboli letištní pojezdový radar slouží k řízení provozu nejen letadel, ale i mobilních prostředků na letištních provozních plochách. Hlavní použití tohoto typu radaru je za snížené či žádné viditelnosti, tedy když nelze řídit provoz vizuálně. Na letišti Praha Ruzyně je využíván letištní radar TERMA pracující na kmitočtu $9410MHz$ s opakovacím kmitočtem $8128Hz$ a impulsním výkonem $25kW$. Má vysokou obnovovací rychlost informace, vysokou rozlišovací schopnost do $10m$ co se týče vzdálenosti a v úhlu se jedná o rozlišení $0,5^\circ$. Šířka vysílacího impulsu je $40ns$, anténa se otáčí rychlostí $60ot \cdot min^{-1}$ a dosah radaru je $4,5km$.

Tento letištní pojezdový radar, lépe řečeno přehledový radar, pouze určí kde se dané cíle nachází, ale nezíská od nich identifikaci. Identifikace je získána za pomoci předcházejícího systému a to multilaterace neboli systému P3D-AS. Mezi další nevýhody patří nepřesnost, která je způsobena povětrnostními podmínkami.

Tento druh radaru má však své nevýhody spočívající v detekování falešných cílů nebo nemožnosti jednoznačné identifikace atd. Z tohoto důvodu do systému A-SMGCS vstupuje několik složek pro určení detekce cílů a SMR tedy není tou jedinou, na které by provoz na letištních provozních plochách byl odkázán.

A-SMGCS systém byl na letišti Praha Ruzyně instalován již v roce 2004. Celý systém poskytuje 4 služby a to sledování, kontrolování, směřování a navádění. Mezi jeho základní funkce patří přehledová, monitorovací, výstražná a poslední je vedení a plánování tratě. Tou nejvýznamnější je přehledová, která slouží k přehledu na provozních plochách letiště včetně

koncové a prvotní fáze letu. Jedná se o poskytování především identifikace a následně informace o poloze všech letadel i mobilních prostředků. Monitorovací a výstražná funkce slouží především k předejití nebezpečné situace. Data k tomuto potřebná získává z předešlé přehledové funkce. Automatické systémy monitorují a identifikují situace. Po jejím zjištění se automaticky spustí zvukový a také vizuální signál řídicímu, pilotovi i řidiči mobilního prostředku. Pokud je zahrnuta i funkce plánování tratě, systém porovnává současnou trať s plánovanou, následně situaci vyhodnotí a v případě, že nejsou shodné vydá výstrahu. Běžně se navigační služba provádí za pomoci příkazů řídicího popřípadě ovládním dráhových světel a stop příček. V případě rozšířeného A-SMGCS se jedná o přímou navigaci a kontrolu, kdy piloti ani řidiči mobilních prostředků nemusí provádět hlášení.

Do celého systému tedy vstupují přehledové senzory a systém řízení letového provozu. Díky tomu je zajištěna kontrola veškerých pohybů po provozních letištních plochách. V Praze Ruzyni je používán systém NOVA 9000 A-SMGCS, který se schopen poskytnou všechny výše zmíněné služby a funkce. NOVA 9000 není určen pouze pro kontrolu pohybů po letištních provozních plochách, ale také jako kontrola při přiblížení a odletu. Mezi základní složky systému patří:

- čtyři pracovní pozice řídicího
- server přehledových dat
- jednotka sloužící ke zpracování dat ze SMR
- subsystém varující před nepovoleným vstupem na RWY a varování před možnou kolizí
- subsystém pro kontrolu a monitorování
- systém pro zaznamenávání

Poskytuje také rozhraní pro radar a další letištní systémy:

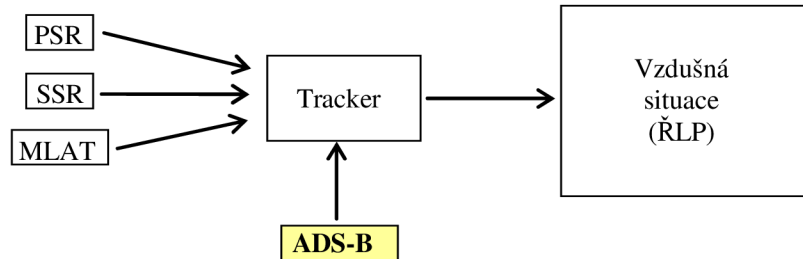
- přehledový přibližovací radar tzv. ASR
- letištní neboli pozemní přehledový radar tzv. SMR
- multilaterace mód S
- systém pozemních světelných návěstidel
- systém pro zpracování letových dat
- ADS-B

Výše uvedené skutečnosti jsou nepostradatelné pro získávání a také pro výměnu letových plánů, přehledových dat a dalších potřebných informací. Veškeré informace získané z těchto přehledových senzorů uchovává jednotka tzv. fúze dat. Získané informace jsou různorodé s ohledu na kvalitu, přesnost, spolehlivost a čas. Jde tedy o to získat z každého vstupujícího systému co možná nejpřesnější informaci o daných cílech, s co nejlepší kvalitou. Výsledná data jsou dle standardu od EUROCONTROLu udány protokolem ASTERIX. Fúze dat je tedy pomyslný pozemní multitracker do něhož vstupují data ze SMR, které jsou zpřesněny daty z multilaterace (P3D-AS). Takto získaná data jednotka propočítá a získá co možná nejpřesnější polohy cílů, které zobrazí na obrazovce řídicímu letového provozu na provozních letištních plochách.

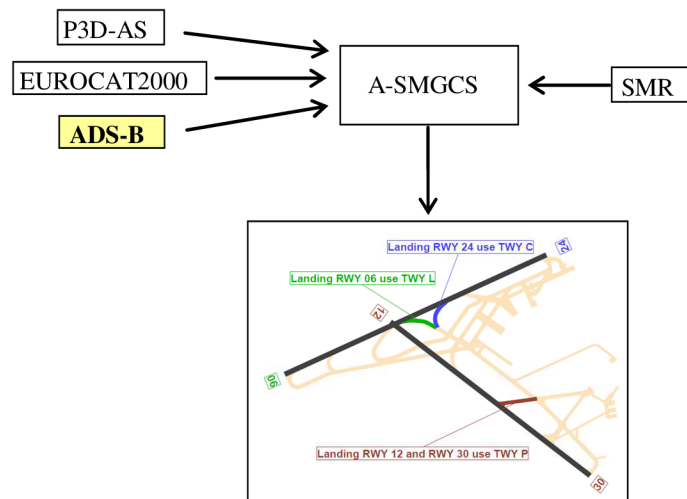
Je nutné řešit též otázku výpadku některých senzorů. V takto vzniklé situaci se informace musejí zobrazovat bez jakéhokoli problému za pomoci ostatních senzorů. Je nutné však brát ohled na přesnost v určení polohy právě využívanými senzory, která se může lišit.

Velice důležitou roli sehrává subsystém varující před nepovoleným vstupem na RWY a varování před možnou kolizí. Jedná se o vnořený subsystém, který monitoruje pohyby na provozních letištních plochách. Řídicí má možnost v reálném časovém rozhraní reagovat na možnou blížící se kolizi, protože systém vydá varovnou zprávu. Varovná zpráva obsahuje nejen identifikaci a polohy cílů, ale dokáže také vyhodnotit vážnost možné kolizní situace.

4.3. Řízení letového provozu s využitím ADS-B jako doplňku



Obr. 35: Zpracování informací při začlenění ADS-B v oblasti CTR/TMA



Obr. 36: Zpracování informací při začlenění ADS-B a zobrazení pohybu po ploše

V předchozím případě byl popsán dnes běžně používaný systém řízení letového provozu v CTR/TMA a také řízení po letištních provozních plochách. V tuhle chvíli je dostačující ve všech aspektech, ovšem stále se do budoucna připravují změny. Celistvost systému a jeho funkce plnit požadované úlohy je dostačující a také dostupnost a nepřetržitost signálu v oblasti CTR/TMA i provozních plochách je vyhovující. Systém má nedostatky v oblasti přesnosti měření, což je důvodem pro začleňování nových systémů, které mají sloužit ke zlepšení všech výše zmíněných nedostatků.

V další fázi práce bude uveden nástin situace letového provozu v CTR/TMA a po provozních plochách Praha – Ruzyně a při začlenění systému ADS-B. Výše bylo zmíněno, že dnes používaný systém je připraven na součinnosti nových systémů včetně ADS-B se stávajícími.

V tomto případě jako primární zdroje dat budou brány informace z klasických systémů, tedy PSR, SSR a MLAT, a ADS-B bude pouze sekundárním zdrojem informací. Je potřebné získané informace spolu navzájem sjednotit jak v pohledu času, tak i situace, aby nedocházelo k identifikaci stejných cílů bez jejich filtrace. Řídicí by bez možnosti filtrace cílů měl obraz vzdušné situace složitý a nepřehledný. Tuto problematiku bude řešit Trackeru/A-SMGCS.

Je potřebné, aby v obou systémech bylo zajištěno zpracování funkce ADS-B a také zpracování informací od ADS-B. Informace z ADS-B vstupují do systémů na stejné úrovni jako informace od ostatních primárních zdrojů. Zpracováním informacím se musí sjednotit získané informace i z pohledu času a vyfiltrovat cíle pokud budou zobrazeny vícekrát.

Největší důraz je tedy kladen na zaručení správné integrity a funkčnosti celého systému. Jeho hlavním úkolem je shromáždit veškeré informace o cílech od všech zdrojů informací, tedy PSR, SSR, MLAT, na provozních plochách pak P3D-AS, EUROCAT2000, SMR a i již začleněného ADS-B. Takto získané informace má následně vyhodnotit. V době vyhodnocování má shodné informace o cílech např. od SSR a ADS-B zaregistrovat, sjednotit a zobrazit je pouze jedenkrát na obrazovce řídicího letového provozu. Je zde tedy potřebná filtrace informací a jejich vyhodnocení. Pro korelaci informací je klasicky používán již známý Kalmánův filtr z předchozího popsaného případu. Na tento pozemní systém jsou kladeny různé požadavky. Mezi nejdůležitější požadavek patří spolehlivost ve zpracování získaných dat a samozřejmě správná a bezchybná funkce ADS-B a všech ostatních systémů.

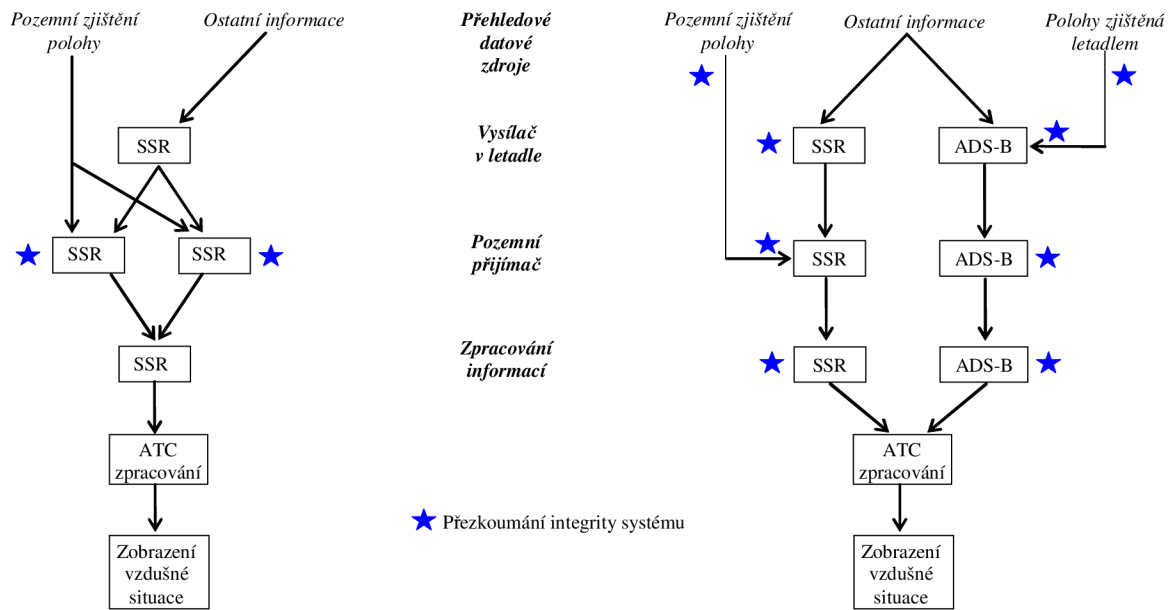
Vertikální informace o cílech budou brány klasickým způsobem od SSR, ovšem horizontální informace budou brány z ADS-B. ADS-B bude informace získávat z GNSS, které je mnohem přesnější. Cíle bez jakéhokoli impulsu budou sami o sobě vysílat za pomoci ADS-B OUT veškeré potřebné informace (funkce systému ADS-B je popsána v kapitole 3.1.2). Tyto informace budou pozemním systémem přijaty a následně zpracovány v Trackeru/A-SMGCS. Systémy získané informace vyhodnotí a následně zobrazí.

V případě výpadku systému ADS-B závažné problémy nenastávají jelikož jsou potřebné informace o cílech stále k dispozici běžným způsobem. Informace půjdou direktní a klasickou cestou popsanou v předchozím případě přímo na obrazovku vzdušné situace řídicímu letového provozu. Problémy nastávají ve chvíli, kdy například vypadne jeden ze zdrojů informace, např. SSR či MLAT nebo v případě výpadku zařízení používaných na provozních plochách P3D-AS či SMR. Toto může být příčinou nedůvěryhodnosti získaných informací pouze z ADS-B, čímž dojde k nekonzistenci dat. Neúplnost systému se neprojeví okamžitě, ale se zpožděním, tím pádem je narušena integrita celého systému. Z důvodu předejití možné kolize cílů by se měli zvýšit rozstupy letadel a měl by se také výrazně omezit letový provoz jak v prostoru CTR/TMA, tak na letištních provozních plochách.

Nevýhodou celého systému je závislost jak SSR tak ADS-B na dalších systémech, což však řeší systém MLAT. Další nevýhoda systému nastává ve chvíli, kdy GNSS jednotka má systémovou chybu. Jak v pohledu časové chyby, tak v pohledu chyby v určení polohy cílů. Cíle získají z GNSS jednotky svoji polohu, kterou vysílají za pomoci ADS-B OUT vysílačem na zem. Na zemi ADS-B IN přijímač tyto informace detekuje a přijme. Ovšem přijaté informace jsou s již obsaženou chybou od jednotky GNSS a to systém sám o sobě není schopen rozpoznat. Jedinou možností pro zjištění této chyby v případě CTR/TMA na pozemní stanici, je SSR a v případě provozních ploch pak SMR. SSR i MSR v těchto případech poskytují odlišné informace než jsou poskytnuty od ADS-B a následně systémy Tracker/A-SMGCS po vyhodnocení zjistí, že se informace spolu neshodují. U obou systémů se předpokládá, že tuto situaci vyřeší nezávisle na jakémkoli lidském zásahu a důvěryhodnost budou věnovat informacím získaným ze SSR a SMR.

ADS-B poskytuje i mnoho výhod, např. ve srovnání při použití informací od dvou SSR a proti tomu ADS-B společně se SSR. Výhodou u druhého použití, tedy ADS-B společně se SSR, je přezkoumání integrity systému.

Možnosti využití ADS-B pro řízení provozu v CTR a po ploše



Obr. 37: Přezkoumání integrity systému

Na Obr. 39 výše, lze vidět, že v případě dvou SSR, se integrita a správná funkčnost kontroluje pouze v jednom kroku. Naopak u ADS-B společně se SSR se tyto hlediska kontrolují vícekrát, což vede ke zlepšení funkčnosti, integrity, spolehlivosti i bezpečnosti celého systému. Další výhodou je, že ADS-B umožňuje nepřetržité a především přesné informace o cílech, bez jakékoliv vnější příčiny.

Na pozemní stanici jsou kladeny různé požadavky a jsou poskytnuté i možné zásahy řídicího do systému. Především jsou požadavky kladeny na informace získané od cílů a o cílech. Cíle by pozemní přijímací stanici měly zasílat minimálně informace typu identifikace letadla, horizontální pozice letadla (zeměpisná šířka a délka), tlakovou nadmořskou výšku a čas platnosti zasílaných informací. Informace musejí být zobrazovány s konstantní časovou obnovou co možná nejkratší možnou. Tato časová obnova ve vzdušném prostoru CTR a TMA se pohybuje v hodnotách 4–6 s a v případě letištního řízení se jedná o 1 s. V případě, že cíle nejsou vybaveny ADS-B popřípadě módem S, musí být zajištěna možnost příjmu informace i od módu A/C. Pokud by došlo ke ztrátě informací z ADS-B, musejí být použita tomu odpovídající radarová data. Pozemní systém by také neměl zavádět chybu určení výšky cílů a měl by pracovat spolehlivě pro všechny cíle, pro které je nastaven.

V případě, že by řídicí neměl k dispozici identifikace o cílech, popřípadě by identifikace cílů byly nesprávné, řídicí má možnost zasáhnout do systému. Tento zásah spočívá v ručním přiřazení identifikací cílům, ovšem po ověření skutečnosti o cílech. V případě nesprávné identifikace může řídicí zasáhnout do systému a opravit jej pokud si je jistý chybou a má ji ověřenou. Tyto zásahy jsou velice přínosné, protože řídicí si může např. u neidentifikovaných cílů uspořádat a zohlednit situaci na svém monitoru.

Na systém jsou kladeny také požadavky v pohledu na separace mezi letadly v prostoru. Běžně používaný rozstup pro klasické řízení letového provozu je 3 NM. V případě začlenění ADS-B, které je přesnější a řídicí díky němu vidí aktuální informace o cílech bez časového zpoždění, se naskýtá možnost při správné funkčnosti systému tento rozstup snížit. V oblasti CTR/TMA se naskýtá možnost snížit rozstupy přibližně na hodnotu 2,5 NM. Tato skutečnost vede k hustějšímu provozu v dané oblasti užití, ovšem musí se respektovat jistá pravděpodobnost, ve které by tento rozstup vyhovoval integritě a funkčnosti systému. Je

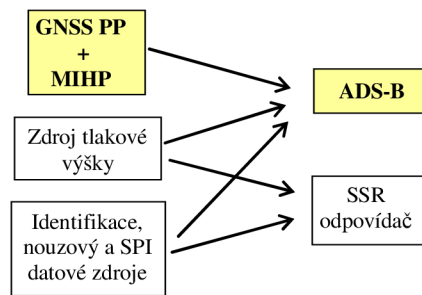
potřebné tuto pravděpodobnost zachovat a dodržovat. Co se týče rozstupů na letištních provozních plochách, tak se spíše situace opírá o tzv. „dráhovou kapacitu letiště“, než-li o běžně v prostoru používané rozstupy. Jedná se o možnou kapacitu pohybujících se cílů po provozních plochách za časový interval jedné hodiny při dodržení bezpečnostních pravidel. Na letišti Praha-Ruzyně je tato hodnota stanovena na 44 pohybujících se cílů na provozních plochách za jednu hodinu. Za pomoci začlenění ADS-B se tato hodnota může zvýšit, tím pádem kapacita letiště bude vyšší. Ovšem stejně jako v oblasti CTR/TMA je potřebné zachovávat a dodržovat jistou pravděpodobnost, kdy dráhové kapacitě letiště bude vyhovovat integrita a funkčnost celého systému.

V pohledu na bezpečnost využití systému je kladen především důraz na předchozí používané typy. Tedy klasické řízení letového provozu pomocí PSR, SSR a MLAT informací a na provozních plochách P3D-AS, EUROCAT2000 a SMR. Tyto běžně používané systémy jsou podle zkušeností brány za velmi bezpečné. Začleněné ADS-B je zde reprezentováno spíše sekundární formou, kdy se zohledňuje její možné začlenění do hierarchie systému a možné běžné používání. Ovšem musí se zohlednit i situace, kdy běžná ověřená hierarchie systému nebude v provozu a veškerou zodpovědnost za řízení letového provozu přejímá ADS-B. V tuto chvíli je potřebné, aby systém pracoval zcela spolehlivě, bezpečně a funkčně. Z těchto důvodů na letišti nebude instalován pouze jediný systém ADS-B, ale bude jich zde několik. Systém lze postavit nejen na zem v okolí pohybových ploch, RWY a letiště, ale lze jej připevnit například i na konstrukci SSR. Informace budou získávány tedy z několika přijímačů ADS-B a vyhodnocovány díky možnému výpadku některého z nich. Plán rozmístění ADS-B přijímačů lze vidět v příloze č. 5: Rozmístění ADS-B na letišti Praha-Ruzyně.

Důležité je také řešení v případě, kdy vypadnou všechny systémy a vyvstává otázka jak řídit letový provoz v CTR/TMA a po letištních provozních plochách. Z toho vyplývá nutnost mít připraven záložní plán spočívající v plně funkčním systému. V současné chvíli je za plně funkční systém považován stávající konvenční systém. Tedy řešení bude spočívat ve využití klasického systému PSR, SSR a MLAT v oblasti CTR/TMA a P3D-AS, EUROCAT2000 a SMR po provozních plochách.

Je též nutné zvažovat i ekonomickou stránku věci, kdy jedna pozemní stanice stojí okolo 500 000 Kč. Uvažuje se rozmístění pozemních stanic dle přílohy 5, tedy zhruba kolem 7 stanic v okolí pohybových ploch a RWY a dále zhruba 5 stanic v okolí letiště. Celková částka pro tento případ je stanovena na 3 500 000 Kč, což není příliš vysoká částka. Toto rozmístění je uvažováno z důvodu dostatečného pokrytí provozních ploch signálem, především RWY a pojižďecích drah. Další ohled výběru umístění stanic ADS-B je brán na lokalitu a její připravenost z pohledu infrastruktury. Připravenost je vztažena na objekty, které mají mít příslušné energetické napájení a také datové spojení.

Požadavky nejsou kladeny pouze na pozemní část systému, nýbrž také na samotné vybavení letadla.



Obr. 38: Palubní zpracování a odeslání informací – SSR a ADS-B

Na palubě letadla (cíle) musí být nejen ADS-B OUT (funkce systému ADS-B je popsána v kapitole 3.1.2). pro vysílání veškerých požadovaných informací, ale i GNSS palubní přijímač s monitorováním integrity horizontální pozice (GNSS PP + MIHP). Na systém ADS-B OUT jsou kladeny požadavky na vysílané informace. Musí splňovat požadavek na vysílání informací jako jsou horizontální pozice (zeměpisná šířka a délka), tlaková výška, identifikace letadla, nouzový indikátor, identifikátor určení polohy (SPI).

SPI je tzv. Special Position Identification report neboli speciální identifikace, určení polohy, díky níž si na několik sekund řídicí může cíl na vyžádání rozblikat či jakýmkoliv způsobem zvýraznit. K tomuto zvýraznění dochází na vyžádání řídicího, kdy cíl po obdržení této zprávy na ni zareaguje. Pokud není jinak vyžádáno, měl by palubní vysílač být schopen vysílat i mód A a to automaticky po nastavení kódu 1000. Pilotům by měla být zpřístupněna i možnost, aby mód A mohli nastavit ručně a to ve všech fázích letu.

Dalším kladeným požadavkem je přesnost určení polohy v horizontální rovině, která by se neměla odlišovat od předem určené pravděpodobnosti. V pohledu na integritu pozice, by přijatý signál mezi GNSS palubním přijímačem a ADS-B OUT měl setrvávat pouze krátký časový interval z důvodu možné chybové funkce. Také na integritu pozice jsou kladeny nároky v pohledu možné chyby a to v rozmezí jednotek námořních mil.

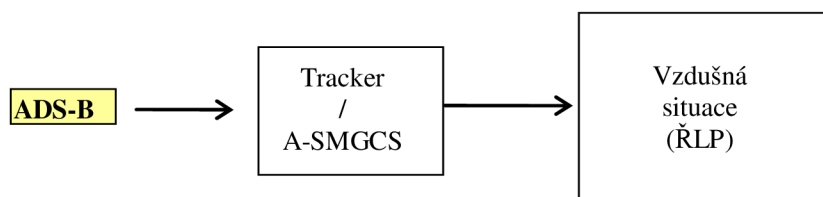
Na palubu letadla se tedy v tomto pohledu přidávají pouze GNSS přijímače a ADS-B vysílače informací. V případě palubních zdrojů dat, které se odlišují od uvedených se předpokládá stejná funkčnost jako u radarů. V případě špatně indikované tlakové výšky za pomoci ADS-B se tento problém na palubě zobrazí. Ovšem v této situaci zařízení automaticky přejdou na poskytování informací od SSR, které berou za spolehlivý zdroj informací a vyšlou jej pozemnímu dotazovači SSR. I v případě ztráty spojení se vyskytne jak řídicímu tak pilotovi o této nastalé situaci hlášení na jejich monitorech. Ale v tomto případě, kdy ADS-B je pouze jako doplněk stávajícího palubního vybavení, se bez jakýchkoliv dalších problémů budou vysílat informace přes SSR odpovídač.

Největší problém nastává ve chvíli, kdy se klasické palubní zařízení stane nefunkční např. SSR odpovídač. V tomto okamžiku veškeré sdílené informace o letadle pro zem jsou dostupné pouze na straně ADS-B OUT. Je tedy potřebné na toto zařízení mít vysoké nároky jak už z pohledu integrity, tak samozřejmě i spolehlivosti ve vysílaných datech. Narozdíl od pozemního ADS-B je na palubě GNSS palubní přijímač, který obsahuje monitorovací systém integrity horizontální pozice. Tedy pokud tento systém vyhodnotí, že horizontální pozice neodpovídá skutečnosti, okamžitě na palubě tuto chybu nahlásí.

Dalším hlediskem je také samotný provozovatel letadel, na něhož v případě začlenění ADS-B pro řízení letového provozu jsou kladeny především finanční nároky. Finanční stránka věci se objeví ve vybavení letadel příslušnými funkčními zařízeními a také následná certifikace takto vybavených letounů. V dnešní době palubní zařízení ADS-B stojí okolo

200 000 Kč. Jelikož by systémem ADS-B měly být letouny vybaveny do roku 2020, jsou tyto pořizovací náklady nezbytné.

4.4. Řízení letového provozu výhradně pomocí ADS-B



Obr. 39: Zpracování informací pouze z ADS-B

V případě řízení letového provozu v CTR/TMA a na letištních provozních plochách za pomoci pouze systému ADS-B, je předpokládána plná schopnost systému řešit zadané úlohy jako jsou přesné a spolehlivé informace o cílech, jejich bezpečné navedení na přiblížení na přistání a následné přistání či zamezení jakýchkoli možných kolizí jak ve vzdušném prostoru tak na provozních plochách. Je tedy zřejmé, že v předchozím případě, když byl systém použit jako sekundární zdroj informací, jeho funkčnost a integrita byla ověřena a vyhovovala veškerým požadavkům na ně kladených. I v případě bezpečnosti řízení letového provozu a přesnosti určení polohy cílů, byl systém také plně vyhovující daným požadavkům. V tomto případě, kdy systém plně vyhovoval jako sekundární zdroj informací, je možné ho použít jako samostatný a spolehlivý zdroj informací.

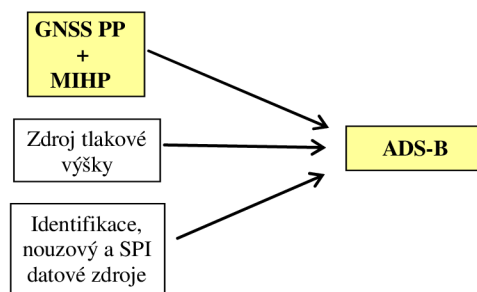
Stejně jako v předchozím případě, budou na systémy Tracker/A-SMGCS kladeny požadavky v ohledu správné integrity, funkčnosti, spolehlivosti a především bezpečnosti. Veškeré tyto požadavky musejí být mnohonásobně vyšší než tomu bylo v předchozím případě. Závažný problém nastává při výpadku systému ADS-B. V současné chvíli neexistuje žádný zcela spolehlivý, funkční a bezpečný systém, který by bylo možné použít samostatně. Je však patrné, že předchozí používané systémy PSR, SSR, MLAT, P3D-AS, EUROCAT2000 a SMR jsou na letišti Praha-Ruzyně stále funkční. Z výše zmíněného je zřejmá nutnost zálohy celého systému, v podobě přechodu na bývalé bezpečně funkční a ověřené systémy. Při tomto přechodu nastávají časové prodlevy. Další nevýhody jsou v nezbytném zvýšení rozstupů mezi cíli, jelikož díky ADS-B byly sníženy. V pohledu bezpečnosti se příliš nemění, protože na systém ADS-B jsou kladeny mnohem vyšší požadavky než pro klasické řízení. Tudíž bezpečnost bude plně zachována.

Díky samotnému systému ADS-B je možné snížit rozstupy mezi cíli, čímž se zvýší hustota provozu ve vzdušném prostoru. Mezi další výhody je možné zařadit využití pouze jednoho zařízení, čímž není potřebné koordinovat získané informace od více zařízení najednou, a také možnost přenášení více různých informací bez jakéhokoli vnějšího zásahu. Jako největší výhodu je možné považovat především přesné a časově aktuální informace o cílech na monitoru řídicího letového provozu. Díky ADS-B jsou velmi přesně zmapovaná i místa, kde běžně není dostatečné krytí radaru. Také se nabízí možnost přenášení informací z letadla v reálném čase na pozemní stanici ve formě FIS-B. Je však nutné stále řešit možnost chybně přijaté informace od cílů. Tato chyba nastává stejně jako v předchozím případě, kdy jednotka GNSS má již zavedenou systémovou chybu. Chyba může mít charakter jak v pohledu špatného určení času, tak v pohledu špatně určené polohy cílů. Systém sám o sobě, ale neumí ověřit svoji správnou funkčnost a tedy ani tuhle chybu není schopen odhalit.

V pohledu na ekonomickou stránku věci již žádné vstupní náklady nejsou aktuální. Důvodem je, že se za vstupní část bere předchozí případ pouhého sekundárního začlenění ADS-B, kdy pozemní stanice jsou již zakoupeny a instalovány. Pouze v případě, že by bylo

potřebné pozemní zařízení obnovit popřípadě doplnit stávající o další pozemní stanice kvůli dalšímu pokrytí části území v okolí letiště. V tomto případě již nebudou zařízení tak cenově náročná.

Samozřejmě jako v předchozí části, kdy bylo ADS-B pouze začleněno do letadel jen jako sekundární zdroj, i v této části samotného využití ADS-B, musejí paluby letadel být příslušně vybaveny. Bez příslušného vybavení by letadla v této situaci neměla možnost vstoupit do oblasti vzdušného prostoru, kde by veškerý vzdušný provoz byl řízen pouze samostatným systémem ADS-B. Je tedy zapotřebí, aby provozovatel letadla palubu příslušně vybavil. Je tedy zřejmé, že i na palubní systém, stejně jako v předchozím případě, jsou kladeny mnohem vyšší požadavky. Paluba letadla musí být vybavena ADS-B OUT sloužící k vysílání veškerých potřebných informací a také GNSS palubní přijímač (GNSS PP + MIHP), který mimo jiné musí monitorovat integritu polohy letadla jak v horizontální, tak ve vertikální rovině. ADS-B OUT v tomto případě musí zaručit správné a spolehlivé vysílané informace v podobě nejen horizontální pozice (zeměpisné šířky a délky), identifikace letadla, nouzového indikátoru, ale také tlakové výšky. Tuhle informaci dříve zastával systém sestávající z PSR, SSR a MLAT. Celý systém musí opět umožnit funkci SPI sloužící pro zvýraznění cíle na monitoru řídicího letového provozu po jeho požadavku.



Obr. 40: Palubní zpracování a odeslání informací –ADS-B

Přesnost určení polohy jak v horizontální tak vertikální rovině je další významný požadavek. Přesnost určení polohy by se měla pohybovat v předem vymezeném intervalu. Z tohoto důvodu, by přijatá informace mezi GNSS palubním přijímačem a ADS-B OUT neměla setrvávat déle než je nutné, a to z důvodu možné chyby. Tento důležitý faktor by měla být schopna GNSS jednotka vyřešit svým rychlým zásahem, díky funkci monitorující integritu polohy letadla.

Další závažný problém nastává v případě ztráty spojení, které se jak pilotovi tak řídicímu letového provozu zobrazí. Pokud by se jednalo o případ, kdy cíle stále mají na svých palubách konvenční systémy jako je SSR, jsou problémy vyřešeny. Cíle přejdou bez jakýchkoliv větších potřeb na předcházející systémy, které v tomto okamžiku plní doplňkovou funkci systému ADS-B. Je nutné zabezpečit letouny zkonstruované v době, kdy konvenční systémy již nejsou na palubách instalovány, ovšem to je prozatím daleká budoucnost. V tomto případě se funkčnost ADS-B bere za jednoznačně ověřenou a spolehlivou. Pilot by v tomto případě měl mít možnost zasáhnout do systému a nastavit kód pro ztrátu spojení, stejně jako tomu bylo u systému SSR.

4.5. ADS-B k řízení mobilních prostředků po letištních plochách

Pohyb mobilních prostředků po pohybových plochách letiště Praha-Ruzyně mohou řídicí monitorovat na svých obrazovkách za pomoci ADS-B Squitter Beacon. Obchodní označení zařízení firmou ERA a.s. Pardubice je tzv. SQUID. Toto zařízení slouží k poskytování

informací o poloze mobilních prostředků i jakýchkoliv překážek, na které je lze velice snadno umístit. Vysílání informací probíhá podle obdobné technologie jako je využívána u letadel. Lze jej umístit jak pevně na mobilní prostředky i na různá pevná zařízení, tak i magneticky. Řídící letového provozu po pohybových plochách má na svých monitorech tedy úplný přehled nejen o pohybujících se letadlech po provozních plochách, ale i o ostatním provozu s letovým provozem na zemi spojeným. Každý mobilní prostředek lze díky tomuto zařízení jednoznačně identifikovat a lze jej začlenit do monitorovacího systému A-SMGCS, se kterým je plně kompatibilní.



Obr. 41: Zařízení SQUID ^[35]

Zařízení ADS-B Squitter Beacon vyrábí mnoho firem po celém světě, ale pro přiblížení funkce a technických parametrů bude vybráno zařízení vyráběné českou firmou ERA a.s. Pardubice. Princip funkce tohoto zmíněného zařízení SQUID je založen na spontánním vysílání impulzů. Vysílání probíhá na kmitočtu 1090 MHz Módu S. Adresa Módu S lze nastavit libovolně uživatelem popřípadě ji ERA může striktně nadefinovat. Každá samostatná jednotka se skládá z elektronické jednotky, sestavy antén a krytu, který je vyrobený z kompozitního materiálu. Elektronická jednotka zabezpečující přenos dat je navržena tak, aby odolala vodě a spolehlivě pracovala za všech možných povětrnostních podmínek. Dle standardů by mělo zařízení bez problémů spolupracovat se systémy jako multilaterace a ADS-B, které letiště Praha-Ruzyně používá.

Mezi výhody tohoto zařízení patří již zmíněné plné začlenění do systému A-SMGCS, zvýšení bezpečnosti provozu na pohybových plochách za jakýchkoliv podmínek, a to především zhoršených, a samozřejmě mnohonásobné snížení rizik možných kolizí díky okamžité znalosti polohy mobilních prostředků a letadel na pohybových plochách.

Vlastnosti tohoto zařízení jsou rozsáhlé. Například z pohledu nákladů se jedná o efektivní a ne příliš drahý doplněk k systémům MLAT a ADS-B. Také adresy lze nastavit dle požadovaných místních podmínek a disponuje malými rozměry i hmotností. Mezi velké přednosti je možné zařadit též nízkou spotřebu energie. Z ekologického hlediska jsou patrné nízké elektromagnetické emise, plně automatizovaný a především bezobslužný provoz a mnohé dalších.

Samotné zařízení SQUID je malý, lehký a snadno instalovatelný „maják“ s magnetickým či fixním držákem sloužícím pro připevnění k mobilnímu prostředku či na jakoukoli překážku potřebnou zohlednit a začlenit do monitorování. Konečná specifikace a konstrukce lze modifikovat dle požadavků zákazníka. Vyhovuje předpisům ICAO Annex 10 Volume IV a E1 Certification.

Z pohledu technických parametrů disponuje nosným kmitočtem 1090 MHz. Výstupní formát, na rozdíl od letadel, která mají $DF = 19$, patří SQUID formát ASTERIX pod odpovědi Módu S $DF = 18$ v souladu s ICAO Annex 10 Volume IV. Na své konstrukci má odolný konektor, který slouží jak pro elektrické vedení, tak pro obousměrné spojení přes RS232. Pro systém ADS-B má k využívání vestavěný 12 – cti kanálový GPS přijímač. Spotřeba zařízení je nízká přibližně 2 kW, lze jej provozovat v teplotách -40°C až $+70^{\circ}\text{C}$ a lze k němu připojit libovolné PC ke změně Módu S popřípadě k aktualizace SW.



Obr. 42: SQUID na mobilním prostředku Follow Me ^[36]



Obr. 43: SQUID na mobilním prostředku ^[71]

4.6. Shrnutí kapitoly

V této části kapitoly bude ADS-B zhodnoceno v pohledech jeho použití jako celku. Nebude zde brán systém sám o sobě, jak bylo poukázáno v kapitole 3.1.7, nýbrž při jeho začlenění pro řízení provozu v CTR/TMA a na provozních letištních plochách. Zhodnocení bude provedeno jak při začlenění ADS-B na palubu letadla tak až po instalaci ADS-B na a v okolí letiště.

V pohledu při začlenění ADS-B na palubu letadla je patrná řada výhod. Prvotní lze najít už v samotné zástavbě na letounu, kdy zabere tento systém méně místa než konvenční systémy SSR a další. Další výhodou jsou kontinuálně rozesílané informace bez jakéhokoli podnětu. Informace nejsou vysílány pouze řídicímu letového provozu, ale i ostatním cílům v blízkém okolí. Díky takto získaným informacím o cílech v okolí je možné zvolit menší rozstupy mezi nimi. V budoucnu se objevuje možnost i zasílání dalších informací mezi cíli jako např. meteorologické informace a další. Značným nedostatkem tohoto systému je nemožnost kontrolovat sám sebe a jeho závislost. Tedy pokud přijme údaje s časovou či polohovou chybou od GNSS, není možné je zjistit a tím pádem i opravit. Je tedy nutné aby přijatá informace GNSS byla natolik spolehlivá, že zajistí bezpečnou funkci ADS-B. Samotné zařízení instalované do letounu není příliš drahé, jak bylo uvedeno výše v kapitole 4.4.

Pozemní stanice ADS-B má ostatně jako každý systém také svá pozitiva a negativa. Mezi pozitiva patří především aktuální informace o cílech, která se řídicímu letového provozu zobrazí na jeho monitoru. Oproti konvenčním tedy nemá takové zpoždění, což je jedna z velkých předností. Získávané informace jsou mnohem přesnější a spolehlivější. Při pohledu na systém zpracovávající získané informace, tedy Tracker, je potřebné ho patřičně vybavit ke splnění veškerých požadavků. Požadavky obnášejí především integritu dat, spolehlivost a bezpečnost kladenou na systém a to vše s dostatečnou pravděpodobností. Je tedy zřejmé, že nároky kladené na Tracker jsou mnohem vyšší oproti klasickým instalovaným systémům SSR, MLAT atd. Vyšší nároky jsou následně vyváženy větší hustotou provozu ve vzdušném prostoru díky nižším rozstupům mezi cíli, lepší integritou dat a především aktuální přesnou informací o cílech. U SSR se integrita dat provádí pouze v jednom jediném kroku, kdežto u ADS-B přijatých informací se integrita bude zkoumat vícekrát. Je tedy zřetelný pokrok ve zpracování a přesnosti získaných dat.

Na pozemních plochách na letišti popřípadě v blízkosti letiště jsou požadavky na počty instalací minimální. Dostatečným je několik stanic jelikož mají velké pokrytí oblasti včetně míst, které radar nemá šanci pokrýt. Z pohledu ekonomického se nejedná o zásadní investiční navýšení. Také nedochází k zástavbě velké plochy. Nevýhodou systému je opět nemožná kontrola dat. V případě, kdy přijme od cíle špatné informace, nemá jakoukoli možnost tuhle informaci při samostatném začlenění nikterak rozpoznat. Rozpoznatelnost je možná pouze v případě, kdy je začleněn ještě další systém např. SSR, kdy informace od obou vstupují rovnocenně a je tedy možná jejich kontrola. Obdobně jako tomu bylo v CTR/TMA, lze zvýšit hustotu provozu i na provozních letištních plochách. Zvýšení hustoty provozu se projeví v navýšení „dráhové dohlednosti“.

Systém je možné umístit takřka na jakémkoliv místě kolem plochy či oblasti, kterou je potřebné sledovat a řídit bez vymezení výšece nad přijímačem popřípadě vysílačem dat. Což např. SSR neumožňuje v důsledku tzv. hluchého kužele a omezené působnosti vysílání signálu v jisté vymezené výšce. Není zapotřebí pro celý systém vystavovat nové konstrukce či speciálně upravovat území, kam má být postaveno. Mohou se postavit jak na již postavenou konstrukci SSR, MLAT a dalších, tak na zemský povrch nebo kamkoliv umístit na horní části budov. Jedinou potřebou ADS-B je přivedení dostatečného energetického a datového spojení. Obdobně jako SSR v případě naléhavé situace či ztrátě spojení je systém ošetřen nastavením příslušného kódu, který slouží ke spojení s řídicím letového provozu na zemi.

V poslední části je zmíněno využití zařízení od firmy ERA a.s. tzv. ADS-B Squitter Beacon. Toto zařízení slouží jako přehledový „maják“ pro mobilní vozidla a techniku po provozních letištních plochách. Což je možné chápat jako další výhodu systému ADS-B, kdy řídící uvidí nejen pohybující se cíle po letištních plochách, ale i mobilní vozidla a techniku. Může tedy díky tomuto zařízení snadněji operovat s veškerými pohyblivými cíli i vozidly a zabránit tak jejich možným srážkám. Tento „maják“ dobře poslouží i cílům pohybujícím se po plochách, kdy budou mít vyšší povědomí o dění kolem nich a zvýší se tedy i bezpečnost.

5. Cenové srovnání ADS-B s konvenčními systémy

V této kapitole budou pro komplexní pojednání o systému ADS-B uvedeny jeho pořizovací náklady. Tyto náklady lze po té srovnávat s náklady na již zavedené systémy a je možné s nimi dále statisticky pracovat.

Pořizovací náklady stávajících systémů

SMR	10 - 20 mil. Kč
PSR	30 - 40 mil. Kč
SSR	50 mil. Kč
MLAT	20 mil. Kč.

Pořizovací náklady ADS-B

ADS-B	500 000 Kč
-------	------------

Z výše uvedených dat je tedy zřejmé, že pořizovací cena ADS-B je mnohonásobně nižší oproti konvenčním již plnohodnotně využívaným systémům. Z hlediska provozních nákladů se jedná o podstatné snížení ceny. Toto snížení je zapříčiněno menším počtem čidel a charakterem systému ADS-B, který je oproti např. SSR statický. ADS-B je také méně náročné vzhledem ke spotřebované elektrické energii. Všechny výše zmíněné aspekty ovlivňují ceny za poplatky spojené s poskytováním služeb ŘLP.

6. Závěr

Tato diplomová práce pojednává o technologii ADS-B a její aplikaci na konkrétní letišti. Jedná se o inovativní technologii řešící řízení letového provozu v prostoru CTR/TMA a po provozních letištních plochách. Jelikož tato technologie úzce spolupracuje se stávajícími technologiemi, je nutné je chápat jako celek. Tudíž byla značná část práce věnována zpracování uceleného přehledu o vývoji moderních navigačních systémů a technologiích. Jedná se především o sekundární radary, MLAT, RNAV, PBN a další. Jelikož se proces zdokonalování na letištích, které tento systém využívají stále vyvíjí, bylo nutné se zaměřit především na poznatky, fakta a objektivní skutečnosti ovlivňující pozitivní vývoj a aplikaci celého systému.

Pro získání uceleného náhledu na problematiku ADS-B bylo nezbytně nutné zaměřit se na podání přehledu o principu funkčnosti systému. V další části této práce byly konkrétně popsány možné využívané datové kanály pro přenos informací mezi pilotem a řídicím letového provozu včetně přenosového formátu ASTERIX. Systém ADS-B pro efektivnější a bezpečnější používání využívá také systém multilaterace, jehož princip funkčnosti je v této práci též nastíněn.

Jádro celé práce tvoří aplikace ADS-B v řízeném prostoru CTR/TMA a po letištních provozních plochách na Letišti Václava Havla Praha. V rámci aplikace byla uvažována součinnost s konvenčními používanými systémy na letišti. Následně je řízení letového provozu v oblasti CTR/TMA a po provozních letištních plochách prováděno pouze pomocí systému ADS-B. Při aplikování bylo docíleno navýšení kapacity vzdušného prostoru ve výšce zmíněné oblasti a navýšení „letištní dráhové kapacity“ na provozních plochách. Mezi hlavní výhody použití systému patří zvýšení bezpečnosti, funkčnosti a integrity letového provozu. Jednou z velkých předností jsou nižší pořizovací náklady oproti stávajícím konvenčním systémům.

Jak bylo zmíněno výše v této práci, jedná se o relativně nový systém, jehož spolehlivost není plnohodnotně ověřena, a proto se tento systém prozatím v České republice samostatně nepoužívá. Ovšem v současné chvíli je o tomto systému uvažováno jako o plnohodnotném nástupci konvenčních systémů. Plnohodnotné zavedení systému ADS-B do řízení letového provozu je předběžně stanoveno mezi lety 2020 až 2025.

7. Použité zdroje

7.1. Použitá literatura

- [1] BATELKA, Marek. *Cíle, metody a technologie prostorové navigace*. Brno, 2009. 43 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. Vedoucí práce Doc. Ing. Slavomír Vosák, CSc.
- [2] BERTOK, Bc. Tibor. *Problematika zavádění ADS-B ve vzdušném prostoru Evropy a České republiky*. Brno, 2014. Diplomová práce. 67 s. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. Vedoucí práce Doc. Ing. Slavomír Vosák, CSc.
- [3] HODINKA, Bc. Jan. *Metody, technické prostředky a procedury plánování a navigace letu po volných tratích v podmínkách RVSM*. Brno, 2008. 74 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. Vedoucí práce Doc. Ing. Slavomír Vosák, CSc.
- [4] MIČKAL, Bc. Ondřej. *Optimalizace prostředků ZLT na letišti Ostrava (náhrada pojezdového radaru)*. Brno, 2011. Diplomová práce. 60 s. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. Vedoucí práce doc. Ing. Slavomír Vosecký, CSc.
- [5] NOVÁK, Andrej a Branislav KANDERA. *Moderní sledovací systémy v letecké dopravě*. první. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010, 130 s. ISBN 978-80-7204-699-7.
- [6] PÉK, Vojtěch. *Využití informace z ADS-B v pasivních multilateračních systémech*. Plzeň, 2008. Diplomová práce. 51 s. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd, Katedra matematiky. Vedoucí práce Prof. RNDr. Petr Příklad, CSc.
- [7] POLÁŠ, Bc. Přemysl. *Aplikace konceptu Free Flight v rámci Evropského vzdušného prostoru*. Brno, 2012. Diplomová práce. 91 s. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Jonák, Ph.D.
- [8] VLASÁK, Čet. František. *Přínosy technologie ADS-B pro letectví*. Brno, 2014. 53 s. Diplomová práce. Univerzita Obrany, Fakulta vojenských technologií, Katedra letectva, Modul: Řízení letového provozu. Vedoucí práce pplk. Ing. Jiří Kacer, Ph.D.
- [9] VOSECKÝ, Slavomír. *Radionavigace: Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisů JAR-FCL-1*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-762.
- [10] VRABEC, rtn. Bc. Stanislav. *Letecká navigace s prvky rozšířené reality*. Brno, 2014. Diplomová práce. 69 s. Univerzita Obrany, Fakulta vojenských technologií, Katedra letectva. Vedoucí práce mjr. doc. Ing. Petr František Ph.D.

7.2. Použité internetové zdroje

- [11] ŠIMOŇÁK, Marek. Výukový web Marka Šimoňáka. *Společenskovědní web* [online]. [cit. 2014-10-17]. Dostupné z: http://www.simonak.eu/index.php?stranka=pages/h_k/12_17.htm
- [12] Left Seat. *Left Seat* [online]. [cit. 2014-12-14]. Dostupné z: <http://macsblog.com/wp-content/uploads/2012/01/NDB3.jpg>
- [13] Australian Flying. *Australian Flying* [online]. [cit. 2014-12-14]. Dostupné z: <http://www.australianflying.com.au/news/wagga-wagga-instrument-landing-system-up-and-running>
- [14] All about flying. *Flying.4fan* [online]. [cit. 2014-12-14]. Dostupné z: <http://flying.4fan.cz/wp-content/uploads/navigace.jpg>
- [15] *Bienvenido a la web de ENAIRE* [online]. [cit. 2014-11-16]. Dostupné z: <http://www.enaire.es/csee/Satellite?blobcol=urldata&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1237554340372&ssbinary=true>
- [16] Maxcraft Avionics. *Maxcraft Avionics* [online]. [cit. 2014-12-14]. Dostupné z: <http://www.maxcraft.ca/news-letter/august-2013>
- [17] *Eurocontrol* [online]. [cit. 2014-11-16]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/>
- [18] *Úřad pro civilní letectví* [online]. [cit. 2014-11-16]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/>
- [19] What do intersection/NAVAIDS look like?. *Fligh sim world* [online]. 2010 [cit. 2015-12-03]. Dostupné z: <http://www.flightsimworld.com/forums/topic/188838-what-do-intersectionsnav aids-look-like/>
- [20] La Navegación Aérea (I). *Surcando los cielos* [online]. 2009 [cit. 2015-03-12]. Dostupné z: <http://surcandoloscielos.es/blog/la-navegacion-aerea-i/>
- [21] MFC PRO 373 NG. *Plug Fly* [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z: http://www.plugfly.com/en_fms-737-ng-pro.html
- [22] *Understanding Required Navigation Performance (RNP) and Area Navigation (RNAV) Operations* [online]. 2013 [cit. 2015-03-17]. Dostupné z: http://www.uasc.com/documents/whitepaper/UASC_RNAV_WhitePaper.pdf
- [23] *AIN online* [online]. [cit. 2015-01-15]. Dostupné z: <http://www.ainonline.com/>
- [24] CDL39. *Gulf Coast Avionics Corporation* [online]. 2015 [cit. 2015-02-18]. Dostupné z: <https://www.gulfcoastavionics.com/products/3783-gdl39-.aspx>
- [25] AisView. *AisView* [online]. 2015 [cit. 2015-04-06]. Dostupné z: <http://aisview.rlp.cz/#>
- [26] *Aero Web* [online]. 2015 [cit. 2015-04-06]. Dostupné z: www.aeroweb.cz/prilohy/pril2118.pdf

- [27] Vzdušný prostor České republiky. *Lis rlp* [online]. 2015 [cit. 2015-04-06]. Dostupné z: http://lis.rlp.cz/vfrmanual/actual/enr_1_cz.html
- [28] *Thales STAR2000* [online]. [cit. 2015-04-06]. Dostupné z: http://www.atc-network.com/Upload/News/34754/Thales_STAR2000_RSM%20970%20S%20radars.jpg
- [29] *Radary* [online]. [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0CDcQFjAE&url=http%3A%2F%2Fwww.fd.cvut.cz%2Fprojects%2Fk621x1rl%2Fdokumenty%2Fradary.ppt&ei=7zckVf-iMomuPNiOgMgI&usg=AFQjCNFk1DJ6tgJf_OBwsF0ZzJsiaMwcLQ&bvm=bv.89947451,d.ZWU
- [30] New Radar Sensors Improve Colorado Air Traffic Safety. *AvStop.com* [online]. 2012 [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: http://avstop.com/news2/wide_area_multilateration_colorado.htm
- [31] *ADS-B pokrytí v ČR* [online]. [cit. 2015-03-18]. Dostupné z: <http://www.multilateration.com/images/stories/mlat/Czech-Coverage-Map.jpg>
- [32] CTR a TMA Praha. *Lis rlp* [online]. 2015 [cit. 2015-04-06]. Dostupné z: http://lis.rlp.cz/ais_data/aip/data/valid/a2-pr-vfrc.pdf
- [33] ASTERIX. *EUROCONTROL* [online]. 2015 [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://www.eurocontrol.int/asterix>
- [34] Letištní mapa LKPR. *Lis rlp* [online]. 2015 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: http://lis.rlp.cz/ais_data/www_main_control/frm_cz_aip.htm
- [35] SQUID - Vehicle Tracking System. *Era a.s. Pardubice* [online]. 2015 [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: https://onlineexhibitormannual.com/worldatmcongress15/PDF/Brochure_exhiReg543038_SQUID.pdf
- [36] *Era* [online]. [cit. 2015-03-18]. Dostupné z: <http://era.aero/>
- [37] Era tracking units deployed at Brussels. *Air Traffic Management* [online]. 2012 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.airtrafficmanagement.net/2012/12/era-tracking-units-deployed-at-brussels/>
- [38] SQUID by Era. *Era* [online]. 2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://era.aero/products/squid-by-era/>

8. Seznam použitých zkratk

<i>Zkratka</i>	<i>Význam v anglickém jazyce</i>	<i>Překlad v českém jazyce</i>
A-SMGCS	Advanced Surface Movement Guidance and Control System	Porkočilý systém navádění a kontroly pozemních pohybů
ADF	Automatic Direction Finder	Palubní automatický rádiový zaměřovač
ADS	Automatic Dependent Surveillance	Automatický závislý přehled o vzdušné situaci
ADS-A	Automatic Dependent Surveillance-Addressed	Automatický závislý přehled o vzdušné situaci-adresa
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance-Broadcast	Automatický závislý přehled o vzdušné situaci-vysílání
ADS-C	Automatic Dependent Surveillance-Contract	Automatický závislý přehled o vzdušné situaci-smlouva
ARTAS	ATM surveillance Tracker and Server	ATM
ASTERIX	All Purpose Structured Eurocontrol Surveillance Information Exchange	Univerzálně strukturovaná přehledová výměna dat dle eurocontrolu
ATC	Air Traffic Control	Řízené letového provozu
ATM	Air Traffic Management	Uspořádání letového provozu
ATS	Air Traffic Services	Letové provozní služby
B-RNAV	Basic-RNAV	Základní RNAV
CDU	Computer Display Unit	Řídící jednotka systému FMS
CNS	Communication, Navigation, Surveillance	Komunikace, Navigace, Sledování
CTR	Control Zone	Řízený okresek
DME	Distance Measuring Equipment	Měřič vzdálenosti
DVOR	Doppler VOR	Dopplerův VOR
ECAC	European Civil Aviation Conference	Evropská konference pro civilní letectví
EUROCONTROL	Eurocontrol	Evropská organizace pro bezpečnost letového provozu
FIS-B	Flight Information Service-Broadcast	Letová informační služba-všesměrově vysílána
FL	Flight Level	Letová hladina
FOM	Figure Of Merit	Přesnost navigačního systému
FMS	Flight Management System	Systém pro řízení a optimalizaci letu
GNSS	Global Navigation Satellite System	Globální navigační satelitní systém
GPS	Global Positioning System	Globální navigační systém
HDG	Heading	Kurz letadla
HF	High Frequency	Krátké vlny
IAF	Initial Approach Fix	Body počátečního přiblížení

ICAO	International Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
IFR	Instrument Flight Rules	Pravidla pro let podle přístrojů
ILS	Instrument Landing System	System pro přesné přiblížení a přistání
INS	Inertial Navigation System	Inerciální navigační systém
IRS	Inertial Reference System	Inerciální referenční systém
LORAN/DECCA	Long Range Air Navigation	Navigace na velké vzdálenosti
MLS	Microwave Landing System	Mikrovlnný systém pro přesné přiblížení na přistání
MRT	Multi-Radar Tracking	Multi radarové sledování
NAVSTAR	Navigation Signal Timing and Ranging	Oficiální název pro GPS
NDB	Non-Directional Beacon	Vše(ne)směrový rádiový maják
NextGen	Next Generation Air Transportation System	Program systémů další generace pro dopravní letectví
NM	Nautical Mile(s)	Námořní míle
NPA	Non-Precise Approach	Nepřesné přístrojové přiblížení
NUC	Navigation Computer Unit	Navigační počítač
PANS	Procedures for air navigation services	Postupy pro letové navigační služby
PAR	Precision Approach Radar	Přesný přibližovací radar
PBN	Performance Based Navigation	Navigace založená na výkonnosti
PSR	Primary Surveillance Radar	Primární přehledový radar
PSS	Passive Surveillance System	Pasivní sledovací systém
P-RNAV	Precision RNAV	Přesná RNAV
QDM	Magnetic Heading	Magnetický kurs
QDR	Magnetic Bearing	Magnetický směrník letadla
RADAR	Radio Detection and Ranging	Radiolokátor
RADNET	Radar Data Network	Radarová datová síť
RB	Relative Bearing	Relativní zaměření
RMCDE	Radar Message Conversion and Distribution Equipment	Radarové konverzační zprávy a distribuce
RNAV	Area Navigation	Prostorová navigace
RNP	Required Navigation Performance	Požadovaná navigační výkonnost
RWY	Runway	Dráha
SDPS	Surveillance Data Processing System	System zpracování přehledových dat
SESAR	Singel European Sky ATM Researcg (Programme)	Evropský program jednotného evropského nebe
SID	Standard Instrument Departure	Standardní přístrojový odlet
SMR	Surface Movement Radar	Letištní přehledový radar

SRA	Surveillance Radar Approach	Přiblížení přehledovým radarem
SRE	Surveillance Radar Element of Precision Approach Radar System	Přehledová část systému přesného přiblížovacího radaru
SSR	Search Surveillance Region	Sekundární přehledový radar
STAR	Standard instrument arrival	Standardní přístrojový přílet
STDMA	Self Organizing Time Division Multiple Access	Vlastní organizační časové rozdělení vícenásobného připojení
TAS	True Airspeed	Pravá vzdušná rychlost
TIS-B	Traffic Information Service-Broadcast	Dopravní informační služba-všesměrově vysílána
TMA	Terminal Manouvering Area	Koncová řízená oblast
TVOR	Terminal VOR	VOR koncové řízené oblasti
UAP	User Application Profile	Uživatelské rozhraní
UAT	Universal Access Transceiver	Univerzální vysílač připojení
VDF	Very High Frequency Directional-finding Station	Zaměřovací stanice pracující na velmi krátkých vlnách
VDL Mode 4	Very High Frequency Digital Link Mode 4	Velmi krátké vln digitální link módu 4
VFR	Visual Flight Rules	Pravidla pro let za viditelnosti
VHF	Very High Frequency	Velmi krátké vln
VOR	VHF Omni-directional Radion Range	VKV všesměrový radiomaják
W/V	Wind/Velocity	Směr a rychlost větru
WAM	Wide-Area Multilateration	Multilaterační zaměřovací systém

9. Seznam použitých obrázků a tabulek

Obrázek	1	Letoun bratrů Wrightových
Obrázek	2	NDB
Obrázek	3	DVOR
Obrázek	4	ILS
Obrázek	5	System CNS
Obrázek	6	Příklad zakreslení do mapy při navigaci výpočtem
Obrázek	7	VOR
Obrázek	8	Klasické versus přímé tratě
Obrázek	9	Běžná versus RNAV navigace
Obrázek	10	CDU FMC 737 NG
Obrázek	11	Optimalizace trasy RNP
Obrázek	12	Schéma navigační specifikace
Obrázek	13	Uspořádání ADS
Obrázek	14	ADS-B OUT
Obrázek	15	ADS-B OUT vysílání
Obrázek	16	ADS-B IN přijímání
Obrázek	17	Vysílání 1090ES
Obrázek	18	Charakteristika seskládání impulsů
Obrázek	19	Blok dat
Obrázek	20	Zpráva 1090ES
Obrázek	21	Vysílání UAT
Obrázek	22	Zpráva UAT
Obrázek	23	Vysílání VDL Mode 4
Obrázek	24	Zobrazení ADS-B
Obrázek	25	Princip MLAT
Obrázek	26	Zobrazení FIS-B
Obrázek	27	Zobrazení SIGMET
Obrázek	28	CTR a TMA Praha
Obrázek	29	Zpracování informací
Obrázek	30	TAR STAR 2000 a RSM 970S
Obrázek	31	Radar Praha
Obrázek	32	Pokrytí MLAT v ČR
Obrázek	33	Anténa boční stanice P3D-WS v Jedlové Hoře
Obrázek	34	Zpracování informací a zobrazení pohybu po ploše
Obrázek	35	Zpracování informací při začlenění ADS-B v oblasti CTR/TMA
Obrázek	36	Zpracování informací při začlenění ADS-B a zobrazení pohybu po ploše
Obrázek	37	Přezkoumání integrity systému
Obrázek	38	Palubní zpracování a odeslání informací – SSR a ADS-B
Obrázek	39	Zpracování informací pouze z ADS-B
Obrázek	40	Palubní zpracování a odeslání informací –ADS-B
Obrázek	41	Zařízení SQUID
Obrázek	42	SQUID na mobilním prostředku Follow Me
Obrázek	43	SQUID na mobilním prostředku
Tabulka	1	Pásma radarů
Tabulka	2	Přehled kategorií formátu ASTERIX

10. Seznam příloh

- Příloha 1** Přehled CTR v ČR
- Příloha 2** CTR a TMA Praha
- Příloha 3** Třídy a oblasti vzdušného prostoru Praha
- Příloha 4** Tabulka tříd vzdušných prostorů s vymezením služeb, omezení atd.
- Příloha 5** Rozmístění ADS-B na letišti Praha-Ruzyně