



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

VYUŽITÍ SSR MÓDU S PRO ŘÍZENÍ POHYBŮ LETADEL A VOZIDEL PO PLOŠE LETIŠTĚ

EXPLOITATION OF THE MODE S SSR FOR AERODROME SURFACE MOVEMENT CONTROL OF
AIRCRAFT & VEHICLES

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. STANISLAV DRÁPAL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

DOC. ING. SLAVOMÍR VOSECKÝ, CSC.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2014/15

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Stanislav Drápal

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Letecký provoz (3708T011)**

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

Využití SSR módu S pro řízení pohybu letadel a vozidel po ploše letiště

v anglickém jazyce:

Exploitation of the Mode S SSR for aerodrome surface movement control of aircraft & vehicles

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Stručný popis funkce SSR módu S.

Princip využití SSR módu S pro řízení pohybu objektů po povrchu Země.

Návrh řešení daného úkolu na zvoleném letišti.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce je ověřit možnosti a stanovit podmínky pro využití SSRmS pro řízení pohybu letadel a vozidel po povrchu vybraného letiště (Brno - Tuřany nebo Ostrava - Mošnov).

Seznam odborné literatury:

Stručný popis funkce SSR módu S ... obecná literatura (radiolokace).

VOSECKÝ, S.: Radiolokace, učebnice, ISBN 978-80-7204-764-2, CERM, Brno 2011.

Odborná literatura, zaměřená na SSRmS.

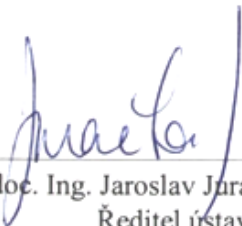
Prameny VUT/FSI - diplomové práce tématiky radiolokace.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Slavomír Vosecký, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/15.

V Brně, dne 24.11.2014





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



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan

Abstrakt

Tato diplomová práce pojednává o současných technologiích a systémech, které se využívají pro sledování a řízení pohybů po ploše letiště. Důraz je kladen na mód S, na jeho vlastnosti, možnosti využití a na požadavky přístrojového vybavení. Dále tato práce zahrnuje rozbor současné situace na letišti Brno - Tuřany a předkládá návrh nového multilateračního systému včetně jeho finanční náročnosti, který by sloužil ke sledování pohybů po ploše letiště.

Abstract

The topic of this thesis relates to the state-of-art technologies and systems used for airport ground movements monitoring and guidance. Emphasis is placed on mode S of SSR, its characteristics, applications and avionics requirements. This thesis further comprises analysis of Brno - Turany Airport and it presents a new multilateration system including economical analysis, which would be used for aerodrome ground movements monitoring.

Klíčová slova

Radiolokace, Sekundární radar, Múd S, ŔLP, Multilaterace, LetiřtĚ Brno – Tuřany, ADS-B, A-SMGCS, Sledování pohybů po letiřtní ploře

Keywords

Radiolocation, Secondary Surveillance radar, Mode S, ATC, Multilateration, Brno - Tuřany Airport, ADS-B, A-SMGCS, Monitoring of airport ground movements

Bibliografická citace

DRÁPAL, S. *Využití SSR módu S pro řízení pohybů letadel a vozidel po ploše letiště*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 65 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Slavomír Vosecký, CSc.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod odborným vedením vedoucího diplomové práce a s použitím literatury uvedené v seznamu práce.

V Brně dne 29. 5. 2014

Bc. Stanislav Drápal

Poděkování

Děkuji všem, kteří mi pomáhali při zpracování této diplomové práce, především

- vedoucímu své diplomové práce panu doc. Ing. Slavomíru Voseckému, CSc, za jeho trpělivost, odborné rady a cenný čas, který mi věnoval,
- panu Ing. Ivanu Uhlířovi z ŘLP, za poskytnutí velmi cenných informací z oblasti multilaterace a za poskytnutá data, a
- vedení letiště Brno - Tuřany za vstřícný přístup při poskytování informací o letišti.

Obsah

1. Úvod	12
2. Sekundární radary	12
2.1 Historické souvislosti	12
2.2 Sekundární přehledové radary	13
2.2.1 Forma vysílané energie	13
2.2.2 Forma odpovědi mód A	14
2.2.3 Určování polohy	15
2.2.4 Nedostatky tradičního sekundárního radaru.....	16
2.2.5 Mód S	17
2.2.6 Přenos dat v módu S	18
2.2.7 Požadavky na vybavení v rámci ČR	19
3. Způsoby sledování letištní plochy	20
3.1 Pozemní přehledový radar	20
3.1.1 Požadavky na SMR	21
3.1.2 CW radary	22
3.1.3 Milimetrové radary	23
3.2 Multilaterace	24
3.2.1 Princip funkce.....	24
3.2.2 Sledování letištní plochy	26
3.2.3 Využití.....	27
3.2.4 Multilaterační systém	28
3.3 ADS-B	28
3.3.1 Úvod	28
3.3.2 Vztah multilaterace a ADS-B	30
3.3.3 Přenosové protokoly	31

3.3.4 Služby ADS-B	32
3.3.5 Monitorování letištní plochy.....	32
3.4 A-SMGCS.....	33
3.4.1 Cíle.....	34
3.4.2 Funkce A-SMGCS.....	34
3.4.3 Zavádění A-SMGCS.....	37
4. Kategorie přesného přiblížení na přistání	39
5. Sledování plochy na letišti Brno - Tuřany.....	39
5.1 Letiště Brno - Tuřany	39
5.2 Technické informace.....	40
5.3 Charakteristika provozu.....	40
5.4 Analýza povětrnostních podmínek.....	41
5.5 Multilaterační systém	44
5.5.1 WAM systém.....	44
5.5.2 „S módové“ letiště	46
5.5.3 Požadavky na A-SMGCS Level I.....	47
5.5.4 Požadavky na MLAT systém jako součásti A-SMGCS Level I.....	48
5.6 Technické řešení pro letiště Brno - Tuřany.....	49
5.6.1 Sledování letištní plochy	49
5.6.2 Sledování vozidel.....	53
5.6.3 Sledování provozu v okolí letiště	54
5.6.4 Uživatelské rozhraní.....	55
5.6.5 Plnění požadavků dle EUROCAE ED-87B.....	57
6. Ekonomický rozbor.....	57
7. Závěr	60
8. Seznam použité literatury	61

9. Seznam použitých zkratek	64
-----------------------------------	----

1. Úvod

Sekundární radary jsou v současné době považovány za technologii minulého století. Jejich význam v řízení letového provozu je však doposud klíčový, protože přechod k jiným modernějším systémům je pomalý a je velmi pravděpodobné, že i v nadcházejícím desetiletí budou sekundární radary nadále tvořit páteřní zdroj informací nezávislého přehledu o vzdušném provozu. Současný trend naznačuje, že budoucností je mód S, který velmi pravděpodobně „přežije“ sekundární radary s rotační anténou. Cílem této práce je tedy vytvořit návrh systému sledování letištní plochy s využitím módu S na letišti Brno - Tuřany tak, aby odpovídal současným požadavkům, ale současně byl kompatibilní se sledovacími technologiemi budoucnosti. V první části této práce bude stručně popsán princip funkce sekundárního radaru a jeho vlastnosti. Důraz je kladen na popsání předností módu S a jeho využití. V druhé části práce se budu zabývat systémy používanými ke sledování letištní plochy a recenzním způsobem se pokusím shrnout přednosti a nevýhody jednotlivých systémů, a to i po ekonomické stránce. V poslední části se pokusím navrhnout systém využívající mód S pro sledování pohybů na ploše mezinárodního letiště Brno - Tuřany. Důraz je kladen na co nejvyšší míru využitelnosti v praxi jak z ekonomického, tak i z technického hlediska, dále na maximální kompatibilitu s moderními systémy, jako je ADS-B.

2. Sekundární radary

2.1 Historické souvislosti

Potřeba sledování letadel z civilních, ale i vojenských důvodů, vyvstala již v počátcích letectví. Pozorovatelé byli v průběhu druhé světové války nahrazeni elektrotechnikou - radary. Teoretický princip funkce radaru byl známý již od roku 1886, kdy Heinrich Hertz demonstroval, že se rádiové vlny odráží od kovových či jiných dielektrických těles. [1] Na podzim roku 1940, po spojení úsilí amerických a britských vědců, došlo k vývoji funkčního prototypu primárního radaru, jehož koncept používáme dodnes. Anténou je vyslán pulz elektromagnetického záření, který se odrazí od povrchu letadla zpět k anténě, přičemž je měřen čas, za který se vyslané elektromagnetické vlny vrátí. Z tohoto času se pak určuje vzdálenost. Britský vynález magnetronu umožnil vysoko výkonné vysílání mikrovlnného elektromagnetického záření a americký vynález duplexer umožnil rychlé přepínání antény

z vysílacího do přijímacího módu, aniž by vysoké výkony vysílaného pulzu poničily citlivé zařízení přijímače.

Během druhé světové války se ve Velké Británii také začal využívat systém identifikace přítele a nepřítele (Identification Friend or Foe- IFF), který je předchůdcem dnešních civilních sekundárních radarových systémů. Jednalo se o systém, který umožňoval identifikovat přátelské cíle - ty, které neodpovídaly, byly automaticky považovány za nepřátelské. Ze země byl vysílán dotaz, na který zařízení instalované v přátelském letadle automaticky odpovědělo vysláním vlastního kódovaného signálu. Na konci druhé světové války již systém využíval frekvenci 1030 MHz pro dotazy a 1090 MHz pro odpovědi. Odpovědi se skládaly z až patnácti pulzů, které umožňovaly identifikaci individuálních letadel. [2]

2.2 Sekundární přehledové radary

Principem funkce sekundárního radaru je vysílání dotazu v podobě několika pulzů elektromagnetických vln pozemním radarem, na které letadlo vyšle odpověď taktéž v podobě elektromagnetických vln. Odpověď je pak vyhodnocena pozemním zařízením. Nezbytnou součástí systému je odpovídač cíle, který je umístěn na palubě. Cíle, které nejsou vybaveny odpovídačem, nebudou sekundárním radarem detekovány. Jedná se tedy o technologii, která vyžaduje spolupráci cíle. Výhodou oproti primárnímu radaru je však zvýšený dosah, nižší vyzařovací výkon, nezávislost na odrazné ploše cíle a možnost přenosu informací mezi zemí a odpovídačem cíle.

Z důvodu eliminace odrazů od země či jiných falešných cílů využívá systém dvou frekvencí v pásmu L. Dotaz vysílaný ze země je vysílán na frekvenci 1030MHz, odpověď je pak vysílána odpovídačem na frekvenci 1090MHz , přičemž oba signály jsou vertikálně polarizovány.

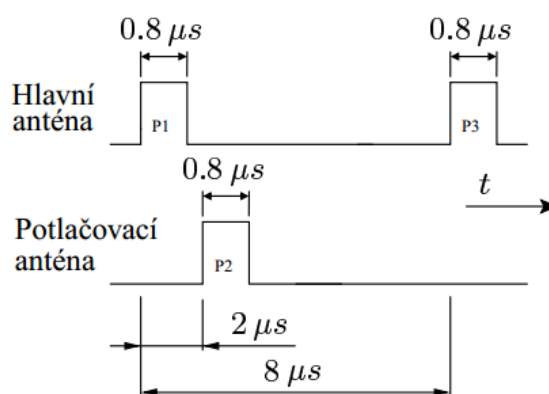
2.2.1 Forma vysílané energie

Forma dotazu se liší v jednotlivých módech systému a v závislosti na druhu obdrženého dotazu vysílá cíl odpověď. V civilním letectví se jednotlivé módy označují písmeny, vojenské módy jsou označovány čísly. Původně byly definovány tři módy vojenské a čtyři módy civilní (A, B, C a D). Z původních módů se v současné době v civilním letectví používají již jen módy A a C, zároveň se začal využívat nový mód označený písmenem S, který umožňuje adresné dotazy a odstraňuje tak některé nevýhody předchozích módů.

Název módu	Funkce	Čas mezi P1 a P3
A	Číslo odpovídače (Squawk)	8 μ s
B	V současné době se nepoužívá	17 μ s
C	Barometrická výška	21 μ s
D	V současné době se nepoužívá	25 μ s

Tab. 1 Módy tradičního SSR

Dotaz je vysílán vysílačem dotazovače a skládá se ze dvou pulzů P1 a P3. V závislosti na vzdálenosti těchto dvou pulzů rozlišujeme jednotlivé módy. Mezi pulzy P1 a P3 je vysílán ještě kontrolní pulz P2, jehož cílem je potlačit odpovědi, které byly vyvolány postranními laloky vyzařovací charakteristiky sekundárního radaru. Pulz P2 je umístěn 2 μ s za pulzem P1. Pokud je amplituda pulzu P2 menší než P1, dotaz byl vyslán hlavním lalokem. Pokud je amplituda pulzu P2 větší nebo rovna P1, dochází k potlačení odpovědi, neboť byl dotaz vyslán postranním lalokem vyzařovací charakteristiky antény dotazovače. Šířka všech pulzů je 0,8 μ s. Tradiční přehledový sekundární radar střídá za sebou dotazy módu A a C.

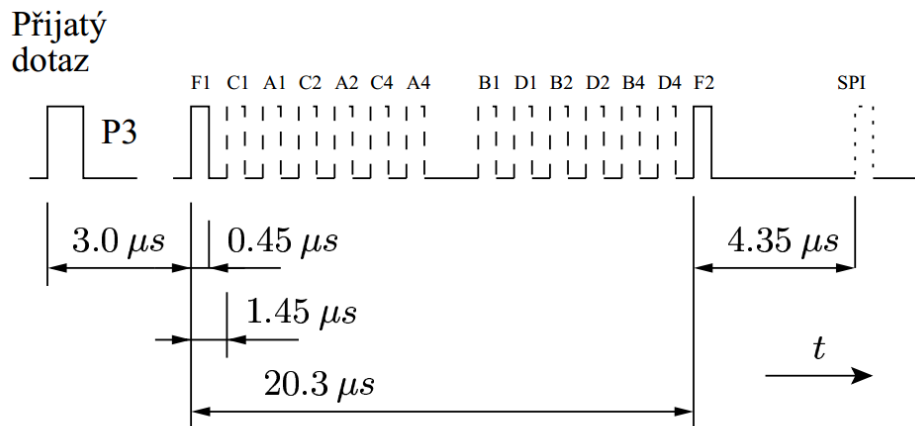


Obr. 1 Tvar dotazu módu A [3]

2.2.2 Forma odpovědi mód A

Odpověď je palubou vysílána všesměrově 3 μ s po obdržení pulzu P3. Zpráva začíná krajním pulzem F1, po kterém následuje šest významových pulzů vzdálených od sebe 1 μ s, jedna volná pozice a dalších šest významových pulzů, které jsou zakončeny krajním pulzem F2. Vzdálenost mezi F1 a F2 je 20,3 μ s. Šířka jednotlivých pulzů je 0,45 μ s. Zpráva je přenášena pomocí amplitudové modulace, kde přítomnost pulzu znamená logickou jedničku a absence značí logickou nulu. Na žádost řídicího letového provozu může pilot spustit funkci Squawk Ident, která vyvolá odpovědi bez nutnosti dotazu, a řídicímu je umožněno vidět, se kterým

cílem právě komunikuje (většinou dojde ke změně barvy cíle, případně ke zvýraznění). Při této funkci je k běžné odpovědi připojen pulz SPI (Special Pilot Identification), který je umístěn 4,35 μ s po krajním pulzu F2.



Obr. 2 Tvar odpovědi módu A [3]

Odpověď módu A je tvořena dvanácti významovými pulzy, ve kterých je pomocí Grayova kódu zašifrováno přidělené identifikační číslo letadla (celkem 4096 možných kombinací).

2.2.3 Určování polohy

Pro určení 3D polohy cíle pomocí sekundárního radaru se používá tři parametrů: výška cíle, azimut a vzdálenost.

Výška cíle

V odpovědi módu C, která je velmi podobná odpovědi módu A z obr. 2, je na zem předávána barometrická výška vztahovaná k mezinárodní standardní atmosféře, která je naměřena v odpovídáči na palubě. Tlaková výška je rozdělena normou ICAO v intervalech po 100 stopách v rozsahu 1000 až 126 750 stop, každému intervalu přísluší jiná kombinace bitů odpovědi.

Azimut

Azimut, ve kterém se letadlo nachází, je určen stejným způsobem jako u primárního radaru, tedy určením úhlu natočení antény. Přesnost určení azimutu závisí na šířce vyzařovacího laloku antény, běžně se pohybuje mezi 2,5° a 4°.

Vzdálenost

Šikmá vzdálenost je měřena podobně jako u primárního radaru, je tedy měřen čas od vyslání dotazu po přijetí odpovědi. Rozdíl oproti primárnímu radaru je ten, že odpověď je generována 3 μ s po přijetí pulzu P3, což je nutno ve výpočtu zohlednit. Rozlišení v dálce je dáno délkou odpovědi, která je v případě vyslání identifikačního pulzu SPI 25,1 μ s.

2.2.4 Nedostatky tradičního sekundárního radaru

Fruiting

Odpověď na přijatý dotaz je vysílána cílem všesměrově. Mohou ji tedy zachytit i stanice sekundárního radaru, které nevyslaly žádný dotaz, a odpovědi tedy nejsou synchronizovány s jejich dotazy. Jedním ze způsobů, jak nesynchronní rušení odstranit, je RSLs (Reply- Path Side-Lobe Suppression). Pozemní stanice sekundárního radaru je vybavena druhou anténou, která všesměrově přijímá signály. Ve výsledku jsou tedy získány dva kanály, jeden z hlavní SSR antény a druhý ze všesměrové antény, které jsou zpracovávány v porovnávacích obvodech přijímače. Jsou zachovány pouze signály s větší amplitudou z kanálu hlavní SSR antény. Potlačení všech odpovědí získaných bočním lalokem přijímače antény budou ignorovány všechny odpovědi cílů vyvolané jiným dotazovačem.

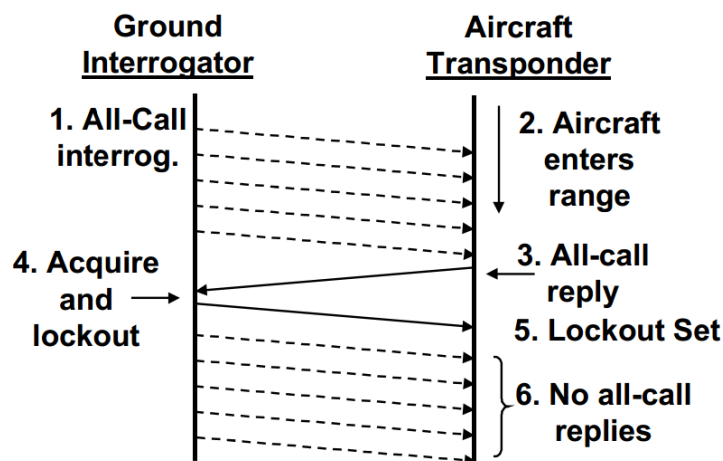
Garbling

Jedním z hlavních nedostatků tradičních módů je synchronní rušení způsobované překrýváním odpovědí vyvolaných jednou pozemní stanicí. Odpovědi ze dvou letadel, jejichž rozdíl ve vzdálenosti odpovídá zpoždění menšímu než 20,3 μ s (tj. ekvivalentu 1,7NM), se budou překrývat v čase. Přijímač pak získaný signál může vyhodnotit jako neplatný. K takovéto situaci dochází nejčastěji v oblastech s hustým letovým provozem např. v TMA, nebo u letadel letících ve stejném azimutu, ale v rozdílných letových hladinách. K odstraňování synchronního rušení se využívá dvou hlavních způsobů. První způsob se zaměřuje na konstrukci vysílače dotazovače, kdy je žádoucí, aby šířka svazku v horizontální rovině byla co nejmenší (obvykle se pohybuje mezi 2°- 4°), druhým způsobem je využití pokročilých metod zpracování signálu.[4] Nejúčinnějším způsobem, jak se zbavit synchronního rušení, je snížit počet dotazů a odpovědí, kvůli čemuž se začal využívat mód S, který umožňuje vysílání adresných dotazů.

2.2.5 M3d S

M3d S využívá dva druhy dotazů: dotazy všeobecné (All Call) a dotazy adresné (Roll Call), určené konkrétním odpovdačům. Při vysílání všeobecného dotazu dostává řLP odpovědi od všech odpovídačů daného módu v dosahu, avšak odpovědi odpovídačů módu S mohou být za určitých podmínek postupně vyloučeny.

Každé letadlo má pevně danou ICAO adresu letadla, která je neměnná, a která se skládá z 24 bitů (tedy existuje 16 777 216 možných kódů). Každému dotazovači je přidělen unikátní kód IC (Interrogator Code). Pole IC je obsaženo ve všech jeho dotazech a ve všech na něj odeslaných odpovědích. To umožňuje efektivní práci dotazovačů s překrývající se oblastí působnosti, například: je-li v oblasti působnosti oblastního přehledového radaru umístěn letištní přehledový radar. Cíle, které byly získány v all-call periodě, jsou následně dotazovány selektivními dotazy v roll-call periodě. Dotazovač může využít funkce lockout, která cíli umožňuje, aby neodpovídal na all-call dotaz s konkrétním IC po dobu 18- ti sekund. Toho bude využito u všech získaných cílů módu S. Sled událostí je podrobně popsán níže s odkazem na Obr. 3.

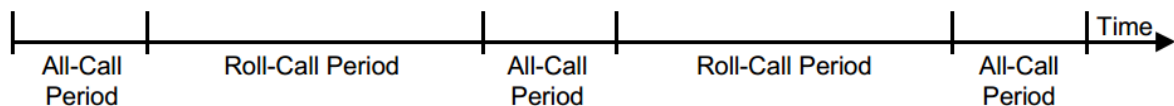


Obr. 3 Proces získávání cílů v módu S [4]

- Dotazovač módu S s daným IC se otáčí po směru hodinových ručiček a v all-call periodě vysílá všeobecné dotazy.
- Cíl vstoupí do oblasti působnosti dotazovače a obdrží all-call dotaz (ten zahrnuje IC).
- Odpovídač vyšle all-call odpověď zahrnující 24 bitovou ICAO adresu letadla a IC dotazovače, na jehož dotaz je odpověď odeslána.

- Pozemní dotazovač obdrží all-call odpověď, kterou dekóduje, určí adresu cíle a jeho pozici, čímž cíl „získá“. V následující roll-call periodách tedy dotazovač vysílá tomuto cíli selektivní adresné dotazy.
- V adresných roll-call dotazech je zahrnuta informace, která instruuje odpovídač, aby neodpovídal na všechny all-call dotazy s daným IC.
- Odpovídač následně ignoruje všechny all-call dotazy s daným IC po dobu 18 sekund, kdy dojde k resetování časovače funkce lockout, takže dojde k potlačení all-call odpovědí po celou délku letu pracovní oblastí dotazovače s daným IC.

Dotazy všech módů sekundárního radaru jsou vysílány na stejné frekvenci 1030MHz. Aby bylo možné dohlížet na letadla vybavená odpovídači módu A/C a současně na ta, která jsou vybavena odpovídačem módu S, musí být kanál 1030MHz rozdělen na periody, ve kterých se střídají adresné a neadresné dotazy. V all-call periodě je prováděn dohled nad cíli s klasickými odpovídači módu A/C a získávání nových cílů s odpovídačem módu S (určení polohy a získání 24 bitové ICAO adresy letadla). Během roll-call periody jsou vysílány selektivní dotazy cílům s odpovídačem módu S.



Obr. 4 Střídání All-Call a Roll-Call period [4]

Z obr. 4 je patrné, že po all-call periodě nastává roll-call perioda. K přepínání dochází z pravidla s frekvencí 40-150Hz (maximum stanovené ICAO je 250Hz). Frekvence opakování a délka jednotlivých period je závislá na lokálních podmínkách. Přesná délka periody závisí na rychlosti otáčení antény, vyzařovací charakteristice a maximálním dosahu.

2.2.6 Přenos dat v módu S

Mód S umožňuje komunikaci mezi palubou a zemí. Je možné předávání informací o poloze, kterou je v dnešní době možné na palubě změřit přesněji, než radarem, informací o rychlosti, kurzu letu atd.

Data jsou přenášena pomocí zpráv, které vždy obsahují 24 bitovou adresu letadla a dalších 56 nebo 112 komunikačních bitů. Zprávy lze také skládat do bloků, takže je možné odeslat

najednou až 1280 bitů dlouhou zprávu. Všechny komunikační protokoly módu S jsou uvedené v ICAO Annex 10.

Mód S Elementary Surveillance (ELS)

Požadavky ELS na palubní odpovídač jsou následující:

- schopnost vysílat ICAO adresu, která je korelována s letovým plánem,
- odpovědi na dotazy vyvolané tradičním SSR,
- hlášení výšky v intervalech po 25 stopách (25 ft),
- status letu (na zemi, ve vzduchu),
- hlášení o schopnostech datové linky,
- ACAS aktivní doporučení k vyřešení konfliktu.

Mód S Enhanced Surveillance (EHS)

Požadavky EHS na palubní odpovídač jsou stejné jako na ELS, a navíc musí být schopen vysílat:

- nastavenou výšku,
- úhel příčného náklonu,
- rychlost změny traťového úhlu,
- zeměpisný traťový úhel,
- traťovou rychlost,
- magnetický kurz,
- indikovanou vzdušnou rychlost / Machovo číslo,
- rychlost stoupání/klesání. [5]

Myslím si, že pomocí EHS řídicí získává dostatečné množství letových parametrů, které mu umožní bezpečně a komfortně řídit letový provoz, aniž by byl zahlcen zbytečnými informacemi.

2.2.7 Požadavky na vybavení v rámci ČR

Vybavení a provozování odpovídačů v Módu S s funkcí ELS je povinné pro:

- lety IFR ve FIR Praha

- vrtulníky bez ohledu na MTOW;
- letouny s maximální schválenou vzletovou hmotností 5700 kg a méně nebo s maximální cestovní pravou vzdušnou rychlostí 250 kt (463 km/hod) a méně,
- lety VFR ve FIR Praha nad FL 95 a
- lety VFR v TMA Praha a CTR Ruzyně.

Vybavení a provozování odpovídačů v Módu S s funkcí EHS je povinné pro:

- všechny lety IFR ve FIR Praha pro letadla s pevnými křídly s maximální schválenou vzletovou hmotností převyšující 5700 kg nebo s maximální cestovní pravou vzdušnou rychlostí větší než 250 kt (463 km/hod).

Vybavení odpovídačem SSR v Módu A a C je povinné pro VFR lety letící mimo vzdušný prostor určený pro Mód S (výše uvedeno) pro:

- všechna motorová letadla a balóny provádějící lety VFR v / nad FL 60 nebo v / nad nadmořskou výškou 5000 ft (1500 m) AMSL,
- všechna letadla provádějící traťový let VFR v noci.[6]

Myslím si, že v budoucnosti se prostory s požadavky na odpovídače módu S budou rozšiřovat a to až do té míry, že odpovídače tradičních módů budou zcela vytlačeny.

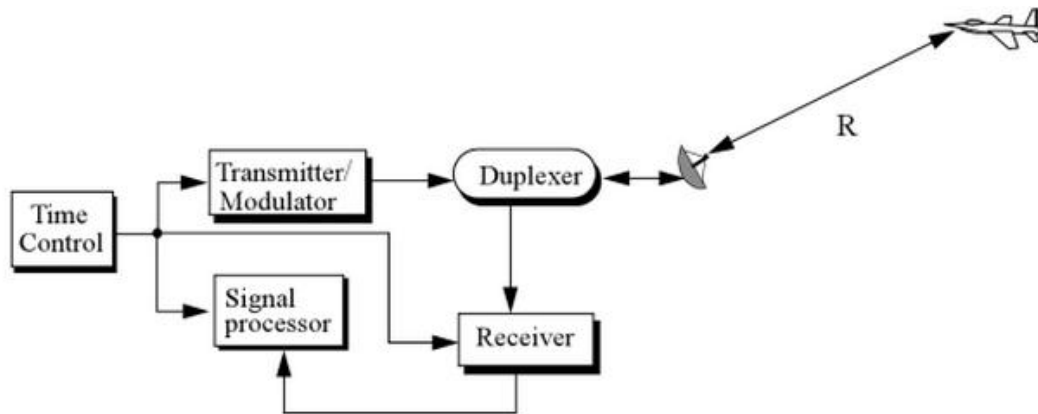
3. Způsoby sledování letištní plochy

S rozvojem civilní letecké dopravy po první světové válce vznikla potřeba bezpečně a efektivně řídit provoz letadel a pozemních vozidel po ploše letiště. Z tohoto důvodu se na letištích začaly budovat vyvýšené věže, které umožňovaly dobrý výhled na celou plochu. S dalším rozvojem letecké dopravy vyvstala potřeba řídit provoz po letišti i za podmínek snížené viditelnosti. Výsledkem bylo zavádění různých druhů technologií, které řídicímu umožňovaly sledovat pohyby po letišti, případně umožňovaly i efektivní řízení pohybů. Detailněji budou jednotlivé technologie popsány níže.

3.1 Pozemní přehledový radar

Jedná se o první způsob, kterým se za pomoci elektrotechniky sledoval provoz po letištní ploše za podmínek snížené viditelnosti. Konstrukčně jde o specializovaný primární radar

s vyzářovací charakteristikou namířenu k zemi a s rychlou obnovou informace. Ačkoliv se jedná o nejstarší technické řešení, zůstává tento systém jedním z nejvyužívanějších způsobů sledování letištní plochy. Anténa SMR (Surface Movement Radar) bývá zpravidla umístěna na střeše letištní věže, odkud má "výhled" na celou plochu. Pro tento druh radaru bývá charakteristická vysoká rychlost otáčení antény (např. 1 Hz), což způsobuje vysokou rychlost obnovy informací. Výhodou SMR je schopnost sledování i nespolupracujících cílů.



Obr. 5 Funkční schéma SMR [7]

3.1.1 Požadavky na SMR

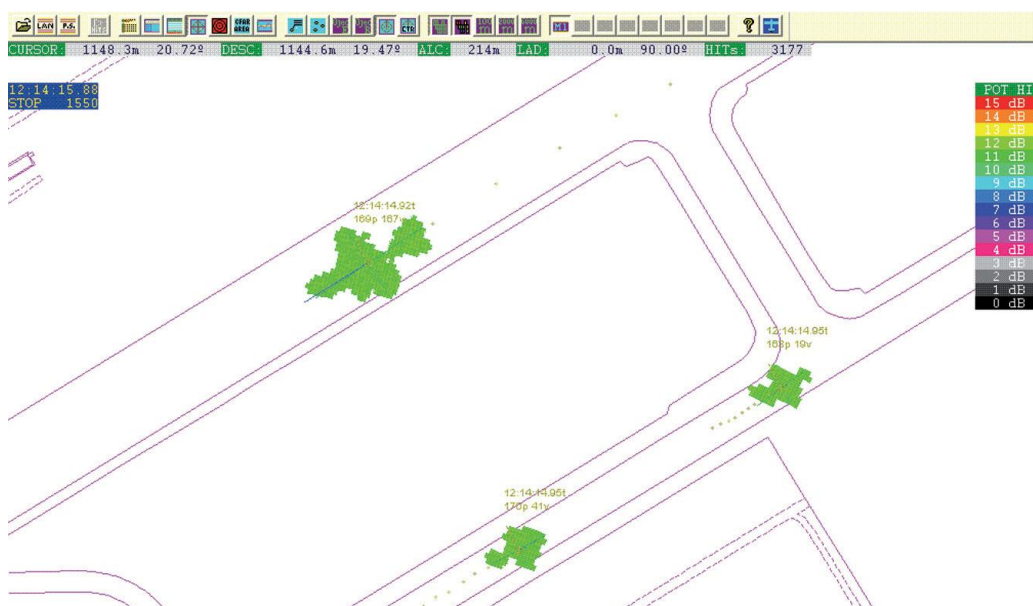
Hlavním požadavkem na SMR je spolehlivost detekce všech cílů na letištní ploše bez ohledu na to, zda jsou to cíle vybavené odpovídáčem SSR, či nikoliv. Běžné SMR nejčastěji využívají velmi krátkých pulzů, obvykle 40ns o frekvenci v pásmu X Band (9 až 9,5 GHz) nebo Ku band (15 až 17 GHz). Opakovací frekvence pulzu PRF (Pulse Repetition Frequency) je závislá na lokálních podmínkách a obvykle je možné ji naprogramovat v rozmezí 800-8000Hz. Výkon takového radaru se pohybuje mezi 20 a 30KW s dosahem okolo 5 km. Vertikální šířka hlavního laloku vyzářovací charakteristiky se pohybuje okolo 10° a horizontální činí okolo 0,3°, což poskytuje dostatečnou přesnost při rozlišení cíle v azimutu. Cíl se na obrazovce řídicího letového provozu zobrazí jako bod nebo jako skvrna v závislosti na množství odražené energie, která je úzce spjata s velikostí cíle.



Obr. 6 Obrazový výstup ze SMR [8]

3.1.2 CW radary

V současnosti jsou na trhu i CW (Continuous Wave) SMR, které pracují taktéž v pásmu X. CW radary pracují na podobném principu jako běžné primární radary s tím rozdílem, že přijímač a vysílač jsou na sobě nezávislé. Vysílač do prostoru vysílá nepřerušovanou vlnu obvykle s lineární frekvenční modulací, která se odráží od cíle a její část se vrací do přijímače. Minimální teoretický dosah je tedy roven nule, protože vysílač nemusí přecházet do “naslouchací” fáze až po vyslání pulzu určité délky. Výhodou je daleko nižší vyzařovací výkon (v řádu jednotek W) a výrazně vyšší rozlišení.



Obr. 7 Obrazový výstup z CW radaru [9]

3.1.3 Milimetrové radary

Ke sledování pohybu po letištní ploše se také používají radary s frekvencí okolo 70 až 95GHz. Na letištích vybavených SMR v pásmech X a K_u bývá zpravidla jedna anténa umístěná na střeše řídicí věže, což v závislosti na poloze věže a okolních budov může vést ke vzniku slepých míst v pokrytí letištní plochy. Problematické může být i samotné umístění antény radaru na střechu řídicí věže, špatná dostupnost při nutné údržbě a v neposlední řadě i vysoká spotřeba energie. V případě poruchy klasického SMR také dojde ke ztrátě informací nezávislého přehledu na celém letišti.

Výše uvedené problémy se snaží řešit nové milimetrové radary. Poskytují vysoké rozlišení na krátkou vzdálenost (do 800m) a díky kompaktnosti umožňují pokrytí 100% plochy.



Obr. 8 Hlava přijímače/vysílače milimetrového radaru [10]

Kvůli krátkému dosahu těchto radarů, bývá po letišti rozmístěno několik hlav, které pokrývají oblast 360° v azimutu. Šířka hlavního paprsku vyzařovací charakteristiky se pohybuje okolo $1,5^\circ$ a při maximální dosahu 800m je vzdálenost měřena s přesností 0,25m. Vzhledem k umístění bývá radarová hlava namontována na asi 2m vysokém stožáru, který je navržen tak, aby se při kontaktu s letadlem (např. při vybočení z přistávací dráhy při přistání) lehce zlomil. Výhodou celého systému je nízká spotřeba elektrické energie (desítky W), nízké

pořizovací náklady, vysoká přesnost a kompatibilita s jinými systémy. V případě selhání jedné radarové hlavy nedochází ke ztrátě přehledu nad celým letišťem a v případě vážnější poruchy je možné radarovou hlavu rychle vyměnit za náhradní. V současné době se milimetrové SMR používají většinou v kombinaci s klasickými SMR, které doplňují na slepých místech letištní plochy. Dalším využitím je přesné monitorování kritických uzlů letiště, detekce narušení pojezdových a vzletových/přistávacích ploch a varování před možnou srážkou. Díky vysoké frekvenci je možné detekovat cizí objekty, které mají velmi malou odraznou plochu, např. objekty odpadnuté z letadel či vozidel. [10]

Jednou z hlavních nevýhod výše uvedených SMR je citlivost na změny v atmosféře, zejména pak na déšť, který výrazně snižuje maximální dosah radaru. Další nevýhodou je fakt, že cíle se zobrazují pouze jako radarové odrazy bez patřičného označení. To může způsobovat problémy zejména na velkých letištích. I přes všechny nedostatky se v současné době technologie SMR hojně využívá, a to buď samostatně, či např. jako integrální součást systému A-SMGCS (Advanced Surface Movement Guidance and Control System).

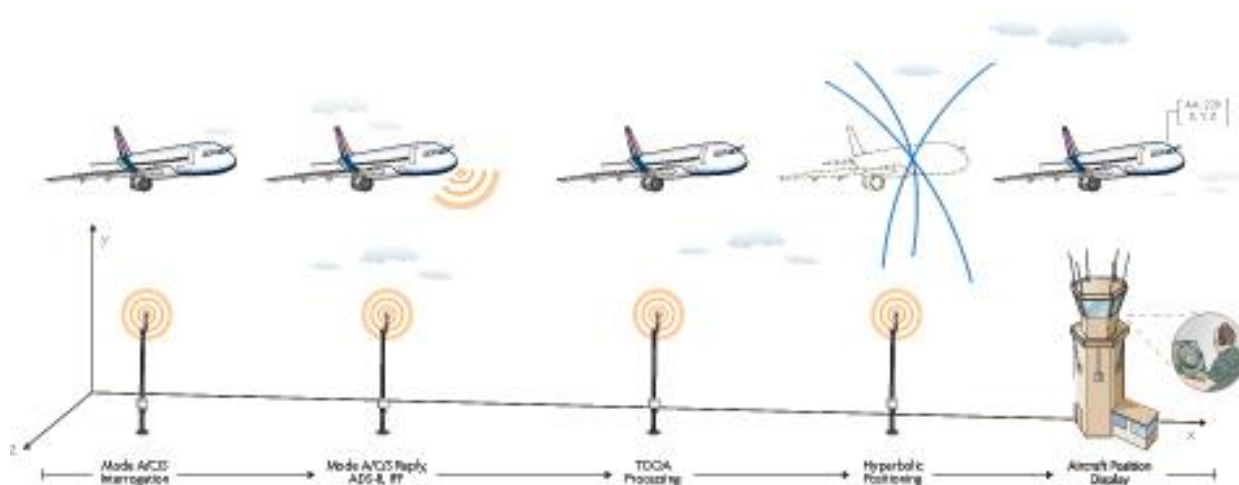
3.2 Multilaterace

Současné multilaterační systémy používané v civilním letectví vycházejí z vojenských systémů. Prvním systémem využívajícím hyperbolické určování polohy byl britský systém z druhé světové války s kódovým označením Gee. Jeho nástupcem pak byl populární systém LORAN a v současné době existuje množství systémů, využívajících rozdílů časů přijetí signálu k určení polohy letadla, vozidla či jiného objektu, a to při letu po trati, či při pohybu po ploše letiště. Velkým rozdílem oproti výše popsanému systému primárního radaru je nutnost spolupráce cíle. Jedná se tedy o spolupracující technologii. Systém neklade speciální nároky na další palubní vybavení, ale využívá nejčastěji elektromagnetických pulzů emitovaných odpovídačem sekundárního radaru módu A/C nebo S.

3.2.1 Princip funkce

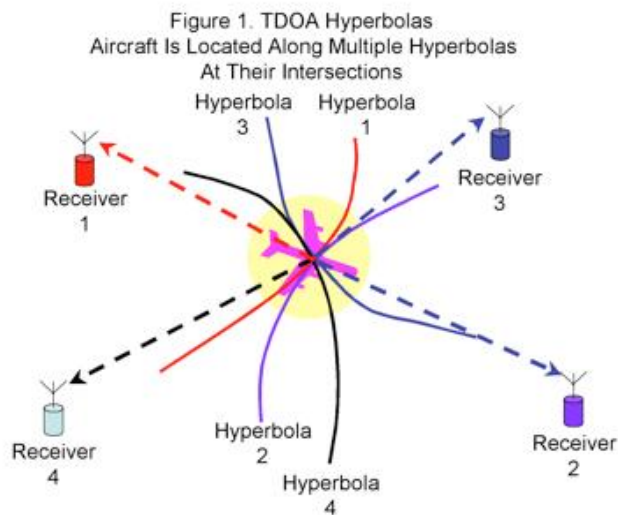
Cíl emituje pulz elektromagnetické energie. Vysílání je všesměrové a jeho rychlost v atmosféře lze považovat za konstantní. Na zemi jsou rozmístěny pozemní přijímače, které signál zaznamenají obecně v rozdílných časech TDOA (Time Difference Of Arrival). To je dáno rozdílnou vzdáleností přijímačů od vysílače. Systém nezná absolutní čas délky letu

elektromagnetického pulzu atmosférou, zná pouze časový rozdíl příchodu pulzu na jednotlivé přijímací stanice.



Obr. 9 Princip funkce multilaterace [11]

Pokud máme dvě přijímací stanice, získáme jeden TDOA, který ve 3D prostoru určuje polohu cíle dvěma částmi hyperboloidu. Pokud použijeme třetí přijímací stanici, získáme další TDOA, a tedy i další hyperboloid. Průnikem těchto dvou hyperboloidů dostáváme křivku, na které se nachází cíl. Přidáme-li čtvrtou přijímací stanici, vzniká další hyperboloid, jehož průnik s dříve získanou křivkou poloh nám umožní získat jeden konkrétní bod, na kterém se cíl nachází. V praxi se však využívá větší počet přijímacích stanic, a to zejména z důvodu zvýšení přesnosti zaměření cíle. Obecně lze říct, že pokud máme n přijímacích stanic, získáváme $n-1$ hyperboloidů. S narůstajícím počtem hyperboloidů se zvyšuje přesnost. V praxi se většinou hyperboloidy neseťkají v jednom konkrétním bodě, což je způsobeno zejména chybami v měření času a jinými vnějšími vlivy. Přesná poloha cíle se proto dopočítává pomocí metody nejmenších čtverců nebo za pomoci Kalmanovy filtrace.



Obr. 10 Princip určení polohy při multilateraci [12]

3.2.2 Sledování letištní plochy

Multilaterace se nabízí jako ideální komplexní řešení pro sledování pohybu po letištní ploše. Na větších letištích může multilaterace doplňovat již instalovaný SMR, přičemž se významně zvyšuje přesnost a spolehlivost určení polohy cíle s tím, že je cíl navíc doplněn identifikačními údaji z odpovídače. Korelací informací z multilateračního systému a SMR získáváme velmi přesný zdroj údajů o poloze cíle. Na malých letištích, kde se za podmínek snížené viditelnosti řídí provoz procedurálně, poskytuje multilaterace cenově dostupný přehledový systém, který výrazně zvyšuje bezpečnost. Flexibilita konfigurace systému umožňuje pokrytí celého letiště včetně pojezdových drah, prostoru mezi hangáry a příletových/odletových oblastí. Vozidla operující na letištní ploše mohou být taktéž vybavena kompaktními, cenově dostupnými odpovídači, čímž je sledování pohybu po letištní ploše integrováno do jednoho systému.



Obr. 11 Příklad rozmístění přijímacích stanic [13]

Přesnost multilateračních systémů je závislá na DOP (Dilution Of Precision), která je spjata s rozmístěním pozemních stanic a polohou cíle. Na letišti vybaveném multilateračním systémem je poloha na letištní ploše obvykle určena s přesností 3-7 m, zatímco ve vzdálenosti 10 NM je poloha určena s přesností 10-12 m.

3.2.3 Využití

Multilaterace nachází uplatnění při sledování cíle ve všech fázích letu. Pro monitorování cíle při letu po trati se používá WAM (Wide Area Multilateration) a to zejména v podmínkách, kde by běžné radarové technologie byly těžko použitelné. Jedná se zejména o místa s členitým terénem. Velkou výhodou oproti např. systému sekundárního radaru je relativně velmi nízká cena a přesnost. Příkladem může být rakouské město Innsbruck, kde z důvodu členitého terénu bylo velmi obtížné použít SSR, případně by to bylo finančně náročné. Kolem města a na okolních kopcích bylo nainstalováno devět přijímacích stanic a byl vytvořen WAM systém. Ten dosahuje přesnosti určení polohy cíle 10 - 50 m a dle rakouského řízení letového provozu Austro Control roční náklady na provoz činí 150 000 Euro, přičemž pokud by se využívalo systému sekundárních radarů, náklady by vzrostly na 13 000 000 Euro.[16] V letových hladinách FL290 až FL410 nad Evropou se multilaterační systémy využívají pro

realizaci RVSM (Reduced Vertical Separation Minima), kdy je možné s pomocí pěti přijímacích stanic určit výšku cíle s přesností 25m a tím navýšit kapacitu vzdušného prostoru.

Jak již bylo zmíněno, multilaterace je vhodná jak pro sledování cílů při letu po trati, sledování koncových oblastí, tak i pro sledování pohybu na letištní ploše. Dalším odvětvím, kde multilaterace nachází uplatnění je environmentální management. V dnešní době je na mnoha letištích kladen důraz na hlukové limity. Obydlené oblasti okolo letišť jsou často zdrojem stížností na porušování hlukových limitů. S využitím multilaterace je možné zaznamenávat přesnou trať letu konkrétního letounu v čase a identifikovat případná překročení hlukových limitů nad konkrétním místem. S nástupem dalších environmentálních omezení představuje multilaterace efektivní a snadno dosažitelný zdroj informací o hluku, emisích a dalších letových datech.

3.2.4 Multilaterační systém

Do prostoru, který má být sledován multilateračním systémem je strategicky rozmístěno několik přijímacích stanic. Jedná se o kompaktní pozemní stanice s nerotační všesměrovou přijímací anténou. Spotřeba elektrické energie je řádově do 1 kWh. Stanice jsou vysoce odolné a nenáročné na údržbu. Jejich úkolem je přijímat signály z odpovídačů sekundárního radaru (A/C/S), dekodovat je a označovat je časovým údajem. Další funkcí je možnost vysílání dotazů stejného tvaru jaký používá SSR, čímž je vytvořen datalink zem-paluba. Pro synchronizaci času a kontrolu správné funkčnosti systému se používá referenční vysílač, který zpravidla bývá umístěn na letišti. Z přijímací stanice jsou data zpravidla bezdrátově odesílána do řídicí jednotky, která vypočítává polohu cíle, řídí synchronizaci času, plánuje vysílání dotazů jednotlivými přijímacími stanicemi a komplexně zpracovává informace o cíli, které jsou předávány do dalších systémů (obrazovka řídicího letového provozu, A-SMGCS, Air traffic management system...). Systém může zpracovávat informace o vysokém počtu cílů (až 750) při zachování vysoké přesnosti určení polohy, přičemž rychlost obnovy informací je vyšší než u tradičních SSR (běžně se informace obnovují s frekvencí 1Hz).

3.3 ADS-B

3.3.1 Úvod

Automatic Dependent Surveillance- Broadcast ADS-B je systém, se kterým se počítá, že se v příštích letech stane hlavním zdrojem informací pro řízení letového provozu. Jedná se o

součástí strategie Next Generation Air Transportation System (NextGen) a Single European Sky ATM Research (SESAR) a jeho zavádění je již v procesu. Princip funkce spočívá v tom, že každý cíl si automaticky sám určuje svoji polohu dle satelitní navigace (GNSS) a tyto údaje o své poloze periodicky všesměrově vysílá bez ohledu, zda je někdo přijímá. Informace vyslané z paluby letadla může zachytit nejenom ATC, ale i letadla v dosahu palubního vysílače, která jsou vybavena pro ADS-B. Pro lepší pochopení systému je nutné popsat jednotlivá slova v názvu. Automatic (automatický)= systém může pracovat bez zásahů pilota. Dependent (závislá)= systém sám o sobě neměří navigační veličiny, ale získává je za pomoci GNSS. Surveillance (dohled, sledování)= jedná o systém, který slouží ke sledování letového prostoru. Broadcast (vysílání)= signál je vysílán všesměrově a je přístupný jak ATC tak okolním letadlům. Tím se výrazně zvyšuje bezpečnost letového provozu, protože posádky letadel vybavených ADS-B získávají stejný přehled o leteckém provozu jako řídící na zemi. Systém se skládá ze dvou služeb- ADS-B Out a ADS-B In.



Obr. 12 Princip funkce [14]

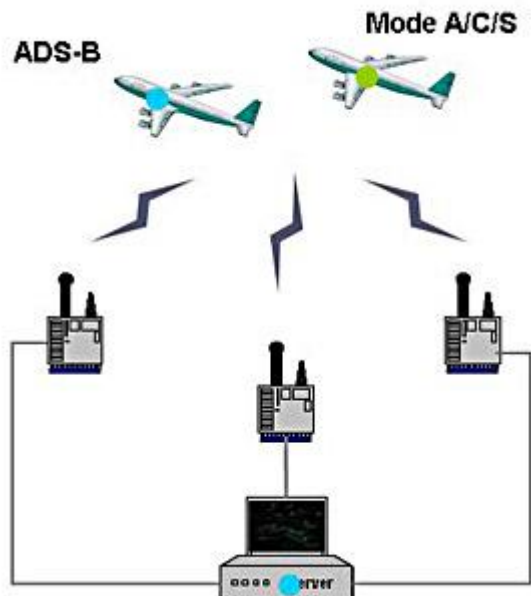
ADS-B Out- pomocí palubního vysílače jsou periodicky (obvykle 1Hz) všesměrově vysílána data o letadle, např. identifikační kód, poloha, rychlost, výška atd. Řídící letového provozu, ale i letadla v dosahu získávají v reálném čase přesné informace o letadle (zpravidla přesnější, než ze současných radarových systémů), což vede ke zvýšení bezpečnosti letového provozu a v budoucnu to může vést ke zhušťování letového provozu.

ADS-B In- přijímání informací FIS-B (Flight information Service), TIS-B (Trafic Information Service) a jiných ADS-B dat, např. přímé komunikace s jiným letadlem v blízkosti.

Zavádění systému klade nároky na avioniku. Ke správné funkci systému jsou zapotřebí dva palubní přístroje. Spolehlivé GNSS (v současnosti GPS) navigační zařízení pro určení polohy a jednotka ADS-B soužící jako datalink. Protože ADS-B nejčastěji pracuje na frekvenci 1090MHz, je pro získání funkce ADS-B Out možné pouze modifikovat stávající odpovídač SSR (pokud tuto službu výrobce poskytuje) a instalovat certifikovaný přijímač GPS. Zavádění systému zpomaluje finanční náročnost.

3.3.2 Vztah multilaterace a ADS-B

I když jsou multilaterace a ADS-B odlišné systémy, není možné je vnímat jako konkurenční systémy. Multilaterace představuje určitý evoluční mezikrok mezi SSR a budoucím využíváním systému ADS-B a to zejména proto, že pro multilateraci není vyžadována nová speciální avionika a systém je kompatibilní se systémem SSR. Posádka letounu nepozná, zda je její poloha určována pomocí sekundárního radaru či pomocí multilateračního systému. Systém ADS-B již ovšem má nároky na novou avioniku, avšak bude využívat již existující infrastrukturu přijímacích stanic multilateračního systému.



Obr. 13 Vztah multilaterace a ADS-B [15]

Multilaterace bude plnit přímou podporu systému ADS-B, která může být charakterizována jako:

- Ověřování přesnosti navigace- porovnávání polohy určené systémem ADS-B a polohy určené z TDOA
- Monitorování integrity ADS-B- multilaterační systém může ověřovat integritu poloh dle ADS-B. Z počátku by se multilaterace využívala ke shromažďování dat z důvodu zaručení bezpečnosti a systému ADS-B před tím, než začne docházet ke komplexnějším aplikacím ADS-B.
- Antispoofing- systém ADS-B je náchylný k vytváření falešných cílů. Multilaterace může sloužit k ověřování, zda se letadlo nachází v daném vzdušném prostoru, případně může identifikovat zdroj falešného vysílání.
- Příklon k systému ADS-B- vzhledem k tomu, že multilaterační přijímací stanice pracují na frekvenci 1090MHz, může multilaterace nahradit tradiční SSR a zajistit obdobné sledování cílů, které nebudou vybaveny systémem ADS-B.[15]

3.3.3 Přenosové protokoly

System ADS-B je navržen tak, aby byl schopen pracovat dohromady se třemi přenosovými protokoly:

- Mode-S Extended Squitter 1090ES
- VHF data link (VDL Mode 4)
- 978 MHz UAT – Universal Access Transceivers [17]

3.3.4 Služby ADS-B

Informace o letovém provozu

Pilot získává informace o letadlech pohybujících se v jeho blízkosti. Informace o jejich výšce, rychlosti, kurzu atd. se pilotovi zobrazují podobným způsobem jako řídícímu letového provozu. Posádky letadel takto získávají komplexní přehled o okolních letadlech vybavených systémem ADS-B Out v reálném čase.

TIS-B

TIS-B doplňuje systém paluba-paluba ADS-B o informace o cílech, které nejsou vybaveny systémem ADS-B, ale jejich poloha je určena jiným ATC systémem (pozemní radary, multilaterace). Posádky tak získávají kompletní přehled o vzdušné situaci v reálném čase. Díky vysoké spolehlivosti je TIS-B také vhodný pro přenos zpráv typu NOTAM (Notice To Airmen). Informace TIS-B mohou přijímat letadla vybavená buďto 978 MHz UAT nebo Mode-S Extended Squitter 1090ES.

FIS-B

FIS-B slouží k poskytování údajů o počasí, NOTAM (Notice To Airmen), ATIS (Automatic Terminal Information Service) atd. Služba je poskytována přes 978 MHz UAT link.

3.3.5 Monitorování letištní plochy

Vysoká přesnost a odolnost vůči povětrnostním podmínkám systém ADS-B předurčují k použití pro monitorování pohybu po letištní ploše. Řídícímu letového provozu se na obrazovce cíle zobrazují jako body, označené identifikací a dalšími informacemi. ADS-B systém je schopen poskytovat:

- Identifikaci letadla
- Polohu
- Indikátor nouze
- Special Position Identifier (SPI)
- Barometrickou výšku (používá se u letících letadel)
- Indikátor pohybu po zemi (tečkovaná historie pohybu a rychlost)
- Typ letadla a kategorii turbulence v úplavu [17]

Z těchto údajů, zobrazených na obrazovce ATC, je možné udělat komplexní představu o dění na ploše letiště. Výhodou oproti SMR je schopnost detekovat cíle a informace o nich i za zhoršených povětrnostních podmínek či v místech, která se nacházejí mimo dosah radaru (např. za budovou terminálu atd.). Nevýhodou je ovšem to, že se jedná o spolupracující technologii, takže ATC “vidí” pouze cíle vybavené systémem ADS-B. V tuto chvíli jím ještě nejsou všechna letadla vybavena, takže ADS-B nachází nejčastěji uplatnění jako součást systémů A-SMGCS.

3.4 A-SMGCS

A-SMGCS (Advanced Surface Movement Guidance and Control System) není možné řadit mezi systémy sledování letištní plochy jako je SMR, multilaterace či ADS-B. Spíše se jedná o systém, který zpracovává a vyhodnocuje data z těchto sledovacích systémů. A-SMGCS vychází ze starší koncepce SMGCS (Surface Movement Guidance and Control System), která zahrnuje vizuální a nevizuální prostředky, postupy, řízení a informační zabezpečení. Základní vizí pro dodržování separací bylo pravidlo „vidět a být viděn“, avšak piloti a obsluha pozemních vozidel spoléhali na pokyny, které manuálně vydávali řídicí letového provozu. S houstnoucím letovým provozem však tento způsob přestal dostačovat. Systém A-SMGCS má za úkol minimalizovat nutnost komunikace mezi palubou a věží a zvýšit efektivitu pohybů po letištní ploše při zachování stejné nebo vyšší bezpečnosti.

3.4.1 Cíle

Bezpečnost

Při pojíždění po letištní ploše se každoročně stane okolo 12% ze všech leteckých nehod. [18] Drtivá většina z nich se stává za podmínek snížené viditelnosti a na vině bývá lidský faktor. Cílem A-SMGCS je tento lidský faktor zcela nebo alespoň částečně nahradit za automatizované systémy. Dalším cílem je přidat kontrolní prvky, které řídícího i posádku včas upozorní např. na neoprávněné přejetí stop příček nebo na blížící se konflikt.

Zvyšování kapacity

V současné době jsou kapacity letiště omezujícím prvkem rozvoje letecké dopravy mezi některými destinacemi. Systém A-SMGCS má za úkol zajistit pomocí funkcí vedení a plánování efektivní využití pojížděcích drah, lepší situační povědomí pro posádky a řídící za podmínek snížené viditelnosti a to vše ve spolupráci s letištními systémy Arrival Manager a Departure Manager.

Ekonomické a environmentální cíle

Volba efektivnější trasy a tím i snížená doba pojíždění přispívají k šetření finančních prostředků zejména za palivo. Zvyšováním kapacity také roste ekonomický potenciál daného letiště. Systém A-SMGCS také přispívá k ochraně životního prostředí. Kratší doba pojíždění bude mít pozitivní vliv na hlukové a emisní znečištění v okolí letiště.

3.4.2 Funkce A-SMGCS

Dohled

Funkce dohled v sobě zahrnuje poskytování přesných informací o poloze všech cílů na ploše, jejich identifikaci a označení povolených pohybů. Důležitým předpokladem je častá aktualizace dat sloužících pro vedení a kontrolu v jednotlivých místech po trati a vysoká odolnost vůči vnějším vlivům (např. počasí). Dohled by měl zasahovat i do určité výšky, aby byly zaznamenány např. nízko letící helikoptéry či letadla po nezdařeném přiblížení. Dohled by také měl zahrnovat přibližující se letadla a to do takové vzdálenosti, aby mohly být zahrnuty do systému A-SMGCS a na zemi mohly být koordinovány např. vzlety či křížení aktivních vzletových ploch. Každé letadlo je tedy sledováno od vstupu do oblasti letiště přes

pojízdní až po vzlet. V současné době se využívá větší množství zdrojů dat, což zaručuje vysokou integritu informací. Požadavky na technické vybavení letiště jsou následující:

- Alespoň jeden nespolupracující přehledový systém, který detekuje všechny objekty na letištní ploše.
- Alespoň jeden spolupracující přehledový systém pro identifikaci cílů na letištní ploše.
- Přibližovací přehledový systém pro určení polohy a identifikaci odlétávajících a přilétávajících letadel.
- Jiné systémy pro zajištění kompletního přehledu.

Informace z těchto všech systémů jsou zpracovány a všechny subjekty využívající systém A-SMGCS tedy získávají komplexní informace o každém cíli pohybujícím se po letištní ploše.

[15]

Kontrola

Funkce kontrola má za úkol vyhodnocovat pohyby cílů po letišti a upozorňovat na případné hrozící nebezpečí střetu. Základní funkcí je zabezpečení a předcházení konfliktů na runway za pomoci stop příček. Systém monitoruje, zda nedošlo k neoprávněnému přejetí stop příčky. Informace je zobrazena na obrazovce ATC a je doplněna varovným zvukovým signálem. Dle zavedeného levelu funkce kontrola vyhodnocuje možné střety od runway až po možné střety na pojezdových drahách v rámci funkce směrování, včetně návrhu řešení. Jedním ze systémů pro A-SMGCS je NOVA 9000 společnosti Park Air Systems, který zahrnuje systém RIMCAS (Runway Incursion Monitoring and Conflict Alert System) s následujícími funkcemi:

- Dvě programovatelné úrovně výstrahy (Stage One and Stage Two alert)
- Sledování obsazenosti RWY
- Monitorování pojezdových drah
- Monitorování přiblížení
- Zabezpečení zakázaných oblastí

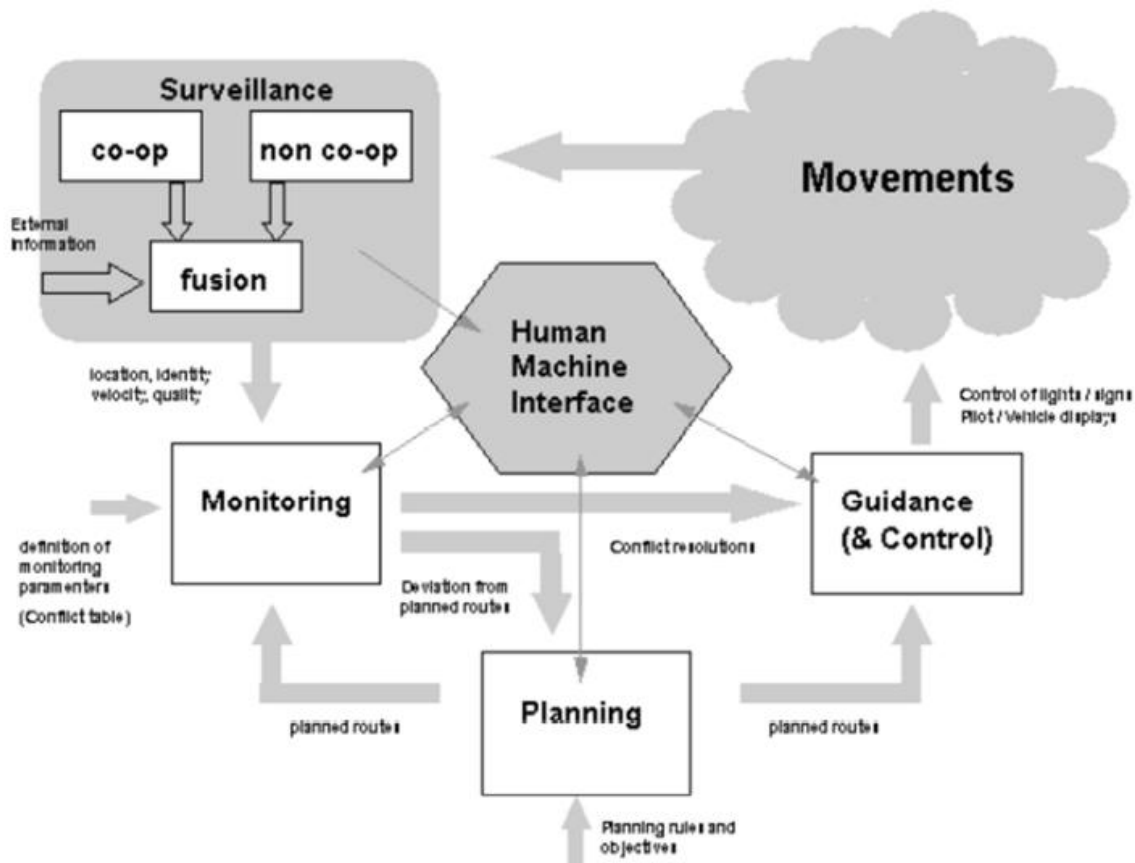
- Sledování křížení RWY
- Nastavení citlivosti výstražných funkcí v závislosti na aktuální viditelnosti

Vedení

Funkce vedení A-SMGCS nachází své uplatnění zejména za podmínek snížené viditelnosti na velkých letištích nebo když pilot není dostatečně obeznámen s rozložením letiště. Všechny tyto faktory mohou vést ke ztrátě situačního povědomí pilota, které negativně ovlivňuje efektivitu pojiždění a bezpečnost provozu. Cílem vedení je pilotovi ulehčit orientaci na letišti a minimalizovat nutnost komunikace věž-paluba. Pilotovi se daná trasa dynamicky zobrazuje na mapě letiště, včetně všech překážek, vozidel či jiných letadel. Systém navíc může být propojen se světelným systémem letiště, takže pilotovi je osvětlována trasa, kterou má následovat, rozsvěčují se stop příčky chránící runway atd. Pilotovi nebo řidiči na ploše letiště jsou tedy pojižděcí instrukce předávány datalinkem a to včetně časových slotů. Systém se vyznačuje vysokou spolehlivostí, efektivitou a bezpečností.

Směrování

Funkce směrování má za úkol vybírat a určovat efektivní trasy pro letadla i vozidla pozemní obsluhy s ohledem na bezpečnost provozu. Jedná se o nejsložitější součást celého systému, která by v budoucnosti měla vést ke zcela zautomatizovanému řízení pohybu po ploše letiště. Odpovědnost za provoz po letišti by pak z řídicích přešla na stroje, čímž by se snížila chyba lidského činitele. Řídící by systém pouze kontroloval a vstupoval do něj pouze v případě nestandardní situace. V závislosti na velikosti letiště a místních podmínkách lze směrování provádět manuálně, poloautomaticky či zcela automaticky. V poloautomatickém módu systém navrhuje pro každé letadlo trasu a řídicí letového provozu ji potvrzuje. V automatickém režimu systém sám určuje jednotlivé trasy pohybu. Úkolem směrování je minimalizovat pojiždění letadel, což má ekonomické i environmentální důsledky a zejména to vede ke zvyšování propustnosti letiště. Systém je flexibilní, takže je možné danou trasu v reálném čase upravovat (změna cíle, změna trasy). [19]



Obr. 14 Funkční schéma A-SMGCS [20]

3.4.3 Zavádění A-SMGCS

Zavádění A-SMGCS na letišti je kontinuální proces, který se realizuje za pomoci hierarchických úrovní, přičemž úrovně I a II se zabývají především zvyšováním bezpečnosti (důraz je kladen na funkce dohled a kontrola) a úrovně III a IV řeší efektivitu pohybů po letištní ploše.

Levels	Surveillance		Control		Route Planning	Guidance	
	Users	Mobiles and areas covered	Users	Conflicts detected	Users	Users	Type
0	Strict application of SMGCS						
	Surveillance						
	Controller	All vehicles in the manoeuvring area All aircraft in the movement area					
II							
	Controller	All vehicles in the manoeuvring area All aircraft in the movement area	Control			Guidance	
			Controller	RWY incursions		Drivers	Airport Static Map & mobile position on a screen as an option
III							
	Controller All participating mobiles	All vehicles in the manoeuvring area All aircraft in the movement area	Controller Equipped mobiles	All conflicts	Route Planning	Pilots Drivers	Airport Dynamic Map (with runway status,...), mobile position on a screen Automatic switch of ground signals
					Controller		
IV							
	Controller All participating mobiles	All vehicles in the manoeuvring area All aircraft in the movement area	Controller All participating mobiles	All conflicts + Conflict Resolution	Controller Equipped mobiles	Pilots Drivers	Airport Dynamic Map (with runway status,...), mobile position & route from route planning function on a screen Automatic switch of ground signals

Obr. 15 Přehled úrovní A-SMGCS [20]

Zavádění jednotlivých úrovní A-SMGCS na letiště závisí především na poměru ceny zařízení, velikosti letiště a počtu pohybů za podmínek snížené viditelnosti. Stručný přehled, jaké úrovně je vhodné zavádět na konkrétní typ letiště, je možné vidět na obr. 16.

Airport type	A-SMGCS cost	Surveillance	Control	Route Planning	Guidance
Light	No (full) A-SMGCS	partly	partly	-	-
Medium	Low cost	I / II	II	-	II
Medium with complex layout or more than 15 low visibility days	Medium cost	I / II	III	III	III
Heavy	High cost	III / IV	IV	IV	IV

Obr. 16 Zavádění A-SMGCS [20]

Hlavním kritériem implementace A-SMGCS jsou provozní požadavky. Přednostně jsou tedy zaváděny funkce, které přispívají ke zvyšování bezpečnosti, spíše, než funkce směrování, která má za úkol zefektivnění pohybů. Dalším faktorem jsou vzájemné vztahy mezi jednotlivými funkcemi, takže např. funkce kontrola nemůže být implementována bez přítomnosti funkce dohled, jak je patrné z obr. 15.

4. Kategorie přesného přiblížení na přistání

Kategorie I (CAT I)

Přesné přístrojové přiblížení a přistání s výškou rozhodnutí ne nižší než 200 ft (60 m) a s dohledností ne menší než 800 m, nebo při dráhové dohlednosti ne menší než 550m.

Kategorie II (CAT II)

Přesné přístrojové přiblížení a přistání s výškou rozhodnutí nižší než 200 ft (60 m), ale ne nižší, než 100 ft (30 m) při dráhové dohlednosti ne menší, než 350 m a vysoké pravděpodobnosti zdařilého přistání.

Kategorie IIIA (CAT IIIA)

Přesné přístrojové přiblížení a přistání s výškou rozhodnutí nižší, než 100 ft (60 m) nebo bez omezení výšky rozhodnutí při dráhové dohlednosti ne menší, než 200 m.

Kategorie IIIB (CAT IIIB)

Přesné přístrojové přiblížení a přistání s výškou rozhodnutí nižší, než 50 ft (15 m) nebo bez omezení výšky rozhodnutí při dráhové dohlednosti menší, než 200 m ale ne menší, než 50 m.

Kategorie IIIC (CAT IIIC)

Přesné přístrojové přiblížení a přistání bez stanovené výšky rozhodnutí a limitu dráhové dohlednosti. [21]

5. Sledování plochy na letišti Brno - Tuřany

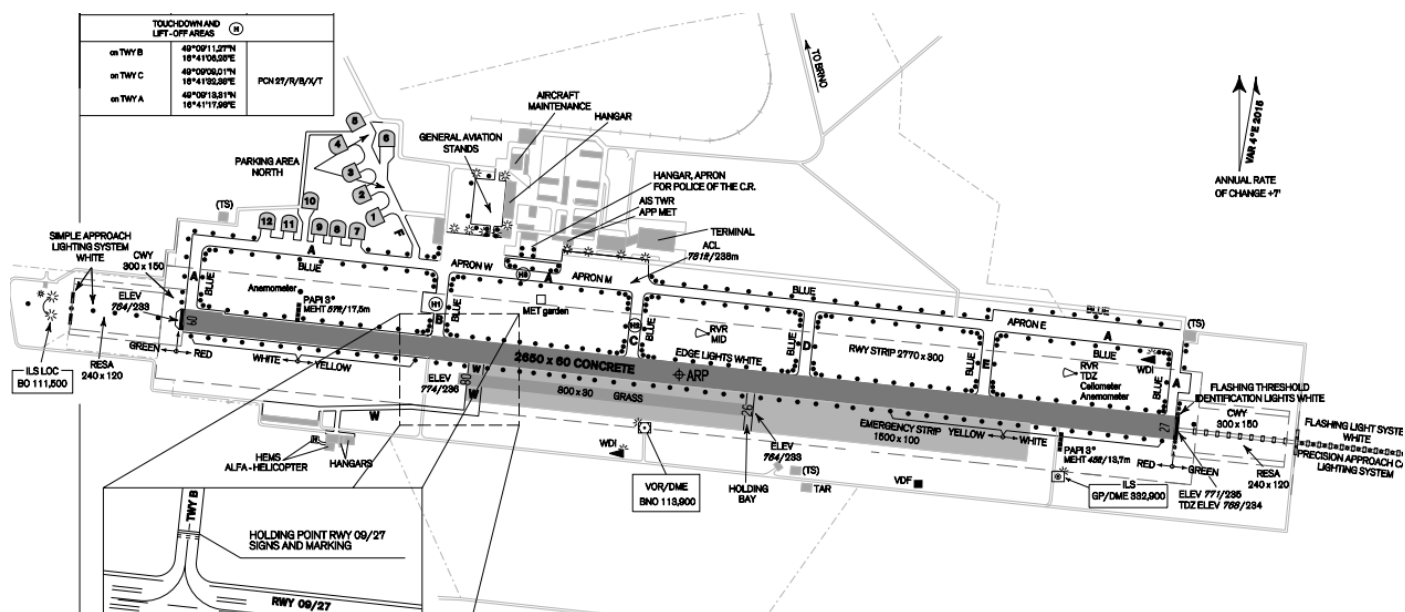
5.1 Letiště Brno - Tuřany

Mezinárodní letiště Brno - Tuřany je veřejné civilní letiště nacházející se 7,5 km jihovýchodně od centra města Brna. Geograficky se letiště Brno - Tuřany nachází na otevřené rovině v blízkosti Drahanské vrchoviny v severním výběžku Dyjsko-svrateckého úvalu. Díky své výhodné poloze patří mezi letiště, jejichž provoz je po většinu roku jen velmi málo ovlivněn povětrnostními podmínkami. Vlastníkem letiště je Jihomoravský kraj a provozovatelem je soukromá společnost LETIŠTĚ BRNO a.s.

5.2 Technické informace

- zeměpisné souřadnice: 49° 09' 05'' N 16° 42' 01'' E,
- nadmořská výška 237 m,
- poloha 8 km JV od středu města Brna,
- celková plocha letiště 350 ha,
- vzletová a přistávací dráha: 2650 × 60 m, beton,
- pojezdové dráhy A, B, C, D, E šířky 18 m, beton,
- navigační zařízení: přesné přiblížení dle ICAO CAT I,
- počet stání letadel: 9 × Boeing 737,
- skladovací plocha: 7000 m².

Letiště je plně vybaveno pro lety VFR i IFR a umožňuje provoz ve dne i v noci. Přesné přiblížení dle ICAO CAT I (ILS (na dráze 28), VOR/DME, PAPI 3°).[23]



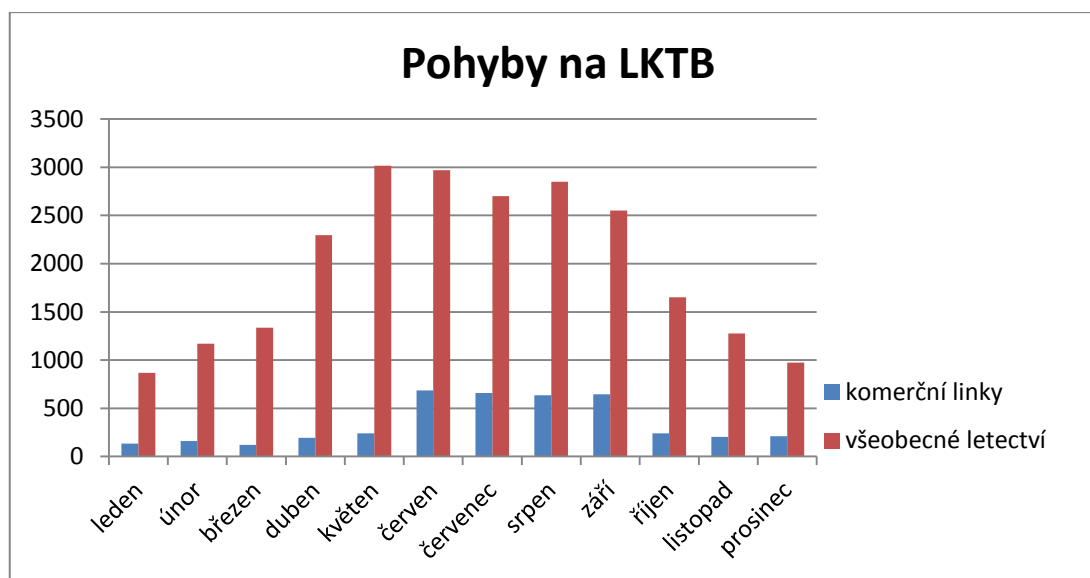
Obr. 17 ICAO mapa letiště Brno Tuřany [24]

5.3 Charakteristika provozu

Při zvažování zavádění systému sledování letištní plochy s využitím módu S na letiště Brno - Tuřany je nutné analyzovat provoz a přístrojové vybavení letadel, u kterých se dá předpokládat pohyb po letištní ploše. Mezinárodní letiště Brno - Tuřany je specifické charakterem provozu, ze kterého vychází i požadavky na sledování letištní plochy. Charakter provozu v letní sezóně je významně odlišný od provozu v zimním období. Během celého roku

převažují pohyby všeobecného letectví. To je způsobeno zejména přítomností leteckých škol a společnostmi vykonávajícími letecké práce. Odhadem více než 90% těchto letadel je vybaveno odpovídačem sekundárního radaru módu A/C a téměř všechna letadla vybavená pro lety IFR jsou vybavena i odpovídačem módu S. Pohyb letadel vybavených pouze pro lety VFR po ploše letiště je ale za snížené dohlednosti velmi nepravděpodobný.

Během roku přilétají pravidelné komerční linky na letiště pouze několikrát denně a tvoří tak menší část provozu. V letní sezóně těchto linek přibývá a od půli května do konce září výrazně přibývá charterových letů, které tak tvoří hlavní zdroj příjmů letiště. Letiště je v současné době využíváno i cargo letouny, které ovšem tvoří pouze malou část celkových pohybů. U všech letadel tvořících tento provoz je možné předpokládat, že jsou vybavena odpovídačem módu S.



Graf 1: Průměrné počty pohybů na letišti Brno- Tuřany v jednotlivých měsících za roky 2010-2014, publikováno se svolením společnosti LETIŠTĚ BRNO a.s.

5.4 Analýza povětrnostních podmínek

Současné vybavení letiště Brno - Tuřany umožňuje zajistit přesné přístrojové přiblížení na přistání kategorie I, tj. dohlednost ne menší než 800 m, dráhová dohlednosti ne menší než 550m. Ze strany ÚCL je systém sledování letištní plochy vyžadován na základě předpisu L-14, kde se v bodech 9.8.7 a 9.8.7 píše:

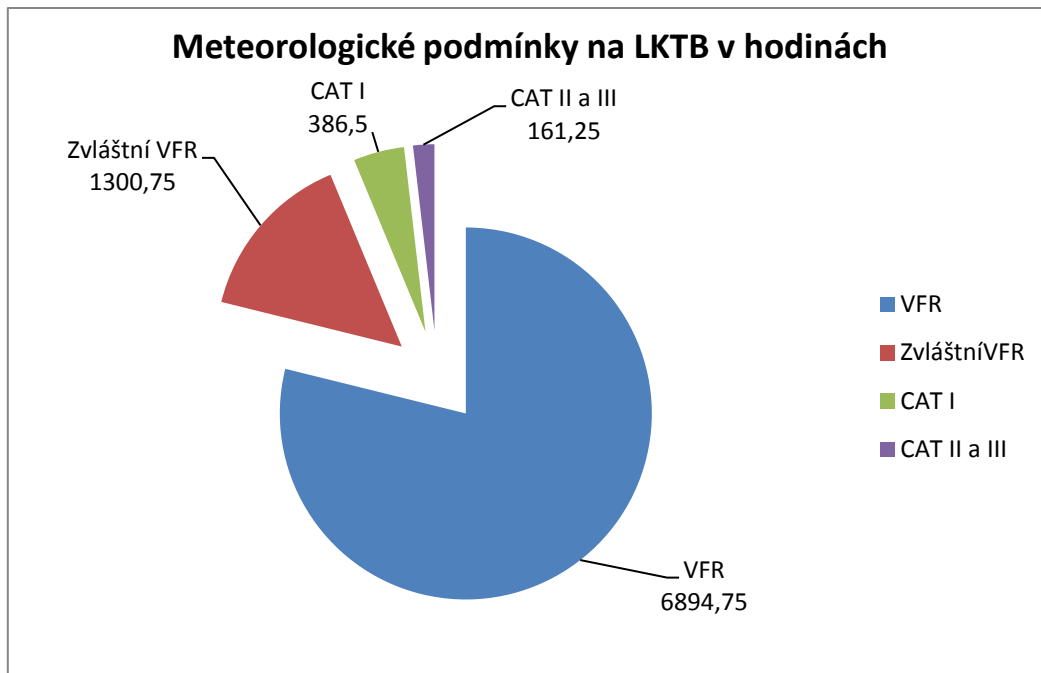
„Na letišti určeném pro použití za podmínek dráhové dohlednosti menší než 550 m musí být instalován pojezdový radar pro sledování pohybů na provozní ploše.

Radár pro sledování pohybů na provozní ploše musí být instalován na letišti z jiných důvodů, než je uvedeno v ust. 9.8.7, jestliže hustota provozu a provozní podmínky jsou takové, že pravidelnost provozního toku nemůže být udržena jinými postupy nebo vybavením.“ [22]

V současné době tedy systém sledování letištní plochy není ze strany ÚCL vyžadován. Pokud by však došlo k rozvoji letiště a zvýšení počtu pohybů po ploše, bylo by na místě analyzovat technické a ekonomické možnosti přechodu z CAT I na CAT II, která by již vyžadovala i systém sledování letištní plochy.

Z důvodu charakteru provozu letiště je nutné posuzovat povětrnostní podmínky na letišti zvláště pro chladné pololetí a zvláště pro letní sezónu, kdy přibývá charterových letů. Ze zpráv METAR a SPECI za pět chladných pololetí (1. říjen až 31. březen) z let 2008/09 až 2012/13 vyplývá, že v případech, kdy byla dohlednost menší než 1000 m, jen ve 3,2 % bylo příčinou zmenšení dohlednosti silné sněžení, mrholení či déšť, nikoliv mlha. Zbylých 96,8 % tedy dohlednost pod 1000 m způsobila mlha. Z toho vyplývá, že významným jevem ovlivňujícím dohlednost na letišti Brno – Tuřany, je mlha. V chladném pololetí se mlha vyskytuje průměrně v 5,7 dnech v měsíci, přičemž za zkoumané období nedošlo k výskytu velmi silné mlhy (dráhová dohlednost nižší než 50m). Silná mlha (dráhová dohlednost nižší než 150 m) se vyskytuje v 6,9%. [25]

Vzhledem k tomu, že většina příjmů letiště pochází z charterové dopravy, je pro ekonomickou analýzu přechodu z CAT I na CAT II důležitý rozbor počasí v letní sezóně, tedy v období květen až říjen. Ideálním souborem dat by byly zprávy o počasí za třicetileté období, avšak jejich digitalizace a analýza by byla nad rámec obsahu této práce. Z dat získaných za období 2005 – 2008 vyplývá, že ve více než 98 % celkového času je stávající vybavení letiště Brno - Tuřany, v ohledu přístrojového přiblížení na přistání, dostačující.



Graf 2: Meteorologické podmínky na letišti v Brně - Tuřany [25]

Letiště Brno - Tuřany nevede žádné statistiky týkající se počtu letů, které musely divertovat z důvodu špatných povětrnostních podmínek způsobených nízkou dohledností. Vedení letiště však odhaduje tento počet v jednotkách za rok. Dalším faktorem, který je nutné brát na zřetel při rozhodování, zda zachovat či zvýšit stávající kategorii, je skutečnost, že při podmínkách, kdy na LKTB nebude schopné přijímat lety z důvodu nízké dohlednosti, jsou v dosahu minimálně čtyři letiště, schopná přijmout divertující provoz (Praha, Ostrava, Vídeň, Bratislava). Pro rozhodnutí o přechodu z CAT I na CAT II je nezbytné analyzovat větší množství informací, avšak ekonomická stránka celého projektu by zřejmě byla rozhodujícím faktorem. Dle odhadů vedení letiště by cena zvýšení kategorie byla vyšší než 100 mil. Kč. Ekonomický rozbor situace je bez rozboru účetnictví letiště nemožný a kompletní analýza investice je nad rámec této práce.

Z výše uvedené analýzy povětrnostních podmínek a provozu vyplývá, že navýšení kategorie přesného přiblížení na přistání z CAT I na CAT II je při současném provozu zbytečné a zřejmě i velmi neekonomické. Neznamena to ale, že systém sledování letištní plochy je zde zbytečný. Dle mého názoru, by dobře konfigurovaný multilaterační systém mohl přinést zvýšení bezpečnosti a zlepšení pokrytí v oblasti letiště Brno - Tuřany. Zároveň by byl kladen důraz na ekonomicky šetrné řešení.

5.5 Multilaterační systém

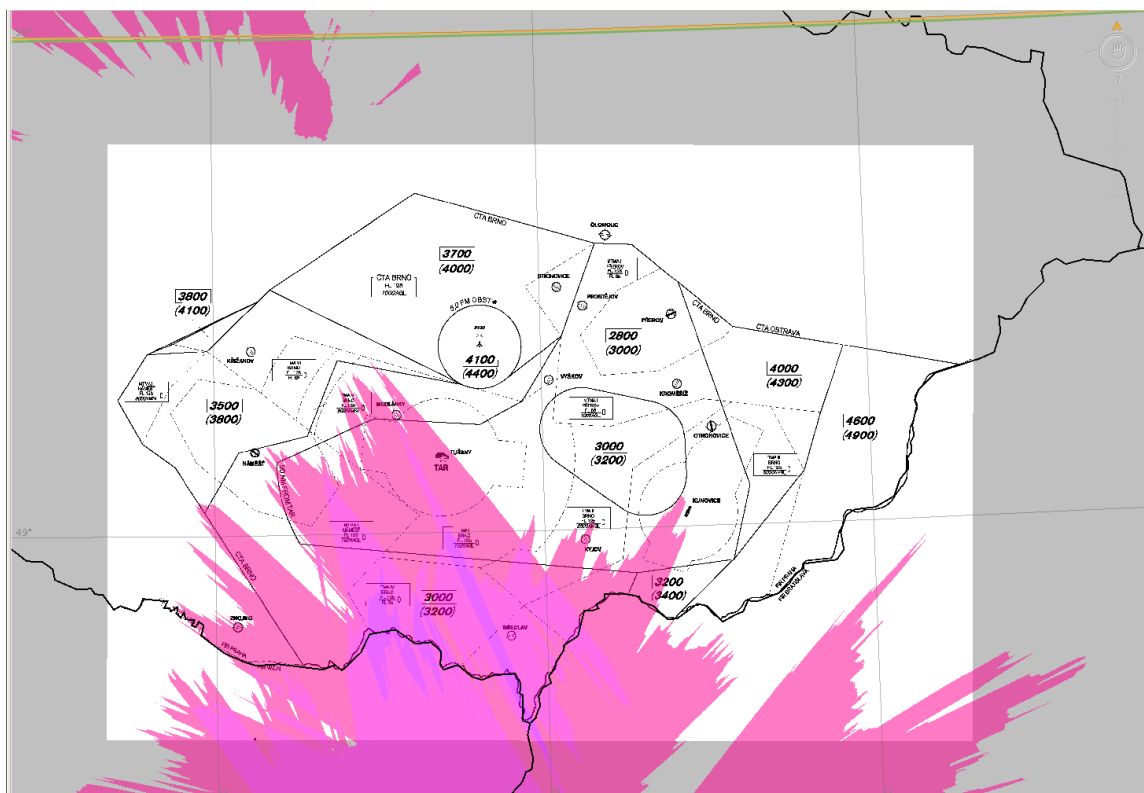
Ve spolupráci se společností Řízení letového provozu ČR s.p. byly stanoveny následující požadavky na multilaterační systém pro letiště Brno - Tuřany. Multilaterační systém musí:

- být součástí stávajícího WAM systému
- vytvořit z letiště Brno – Tuřany „S módové“ letiště.
- sloužit jako zdroj informací závislého přehledu pro A- SMGCS Level I

V následujících podkapitolách bude proveden rozbor jednotlivých požadavků.

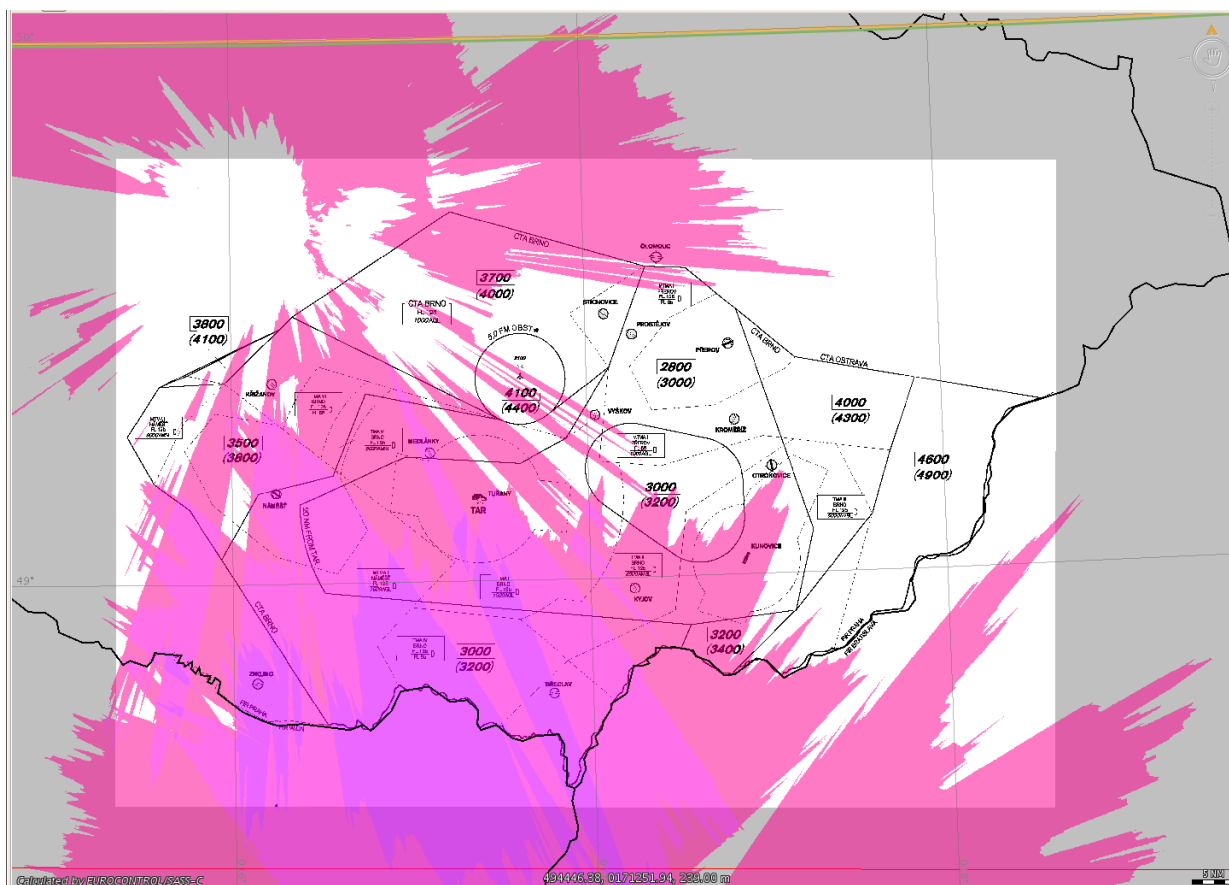
5.5.1 WAM systém

Česká republika je jako jedna z mála zemí světa vybavena WAM systémem. Přijímací stanice multilaterace jsou rozmístěny po celém území republiky a získávají informace z palubních odpovídačů. Výhody oproti SSR jsou uvedeny výše v této práci, proto zde nebudou opakovány. V současné době však systém nevykazuje dostatečnou redundanci, aby byl využíván jako primární zdroj informací závislého přehledu. V budoucnu je však pravděpodobné, že SSR, které v tuto chvíli tvoří páteří zdroj informací pro ŘLP, budou nahrazeny systémem ADS-B, jehož integrita bude monitorována právě WAM systémem, a v případě selhání ADS-B přebere WAM roli hlavního zdroje informací závislého přehledu. Proto je vhodné doplňovat současný WAM systém o další přijímací stanice. Na letišti v Brně – Tuřanech by bylo možné vytvořit systém, který by byl nezávislý tj. nebyl by součástí stávajícího WAM. Systém by sloužil výhradně k monitorování pohybů po ploše letiště. Pokud však přijímací stanice budou součástí WAM, zvýší se spolehlivost systému a s větší přesností bude možné sledovat letadla přibližující se na přistání, případně letadla letící v nižší letové hladině pod oblastí pokrytou SSR. V současné době není CTR Brno pod výškou 1500ft AGL pod krytím žádného z blízkých sekundárních radarů (Buchtův kopec, Velký Javorník, Letiště Vídeň), přičemž všechny tyto radary pracují v režimu módu S. Radarové pokrytí je na obrázcích znázorněno fialovou barvou.



Obr. 19 Pokrytí sekundárními radary v okolí LKTB ve výšce 1500 ft AGL, vytvořeno v EUROCONTROL SASS-C PREDICtION/CAPT 2.2.6, publikováno se souhlasem ŘLP ČR s.p.

Ve výšce 2000ft AGL je již pokryto téměř celé CRT, avšak radarová informace je dostupná pouze z jednoho zdroje (Buchtův kopec), navíc pokrytí je v důsledku blízkého terénu nespojitě.



Obr. 20 Pokrytí sekundárními radary v okolí LKTB ve výšce 2000 ft AGL, vytvořeno v EUROCONTROL SASS-C PREDICITion/CAPT 2.2.6, publikováno se souhlasem ŘLP ČR s.p.

Instalace přijímacích stanic multilaterace na letišti Brno - Tuřany by zvýšil redundanci současného WAM systému, vyřešil problém s pokrytím ve výškách pod 2000ft a navíc by vzniklý systém mohl sloužit pro sledování pohybů po ploše letiště. Systém musí být v prostoru přiblížení konfigurován tak, aby v případě výpadku jedné stanice byla zachována výkonnost v krytí i přesnosti.

5.5.2 „S módové“ letiště

Jak již bylo uvedeno výše, jedním z důvodů zavádění módu S bylo nedostatečné množství kódů odpovídačů tradičního módu A. V módu S je tento kód nahrazen fixní 24 bitovou ICAO adresou, která je jedinečná pro každé letadlo, či každé vozidlo na ploše letiště. Letadlo vybavené odpovídačem módu S si nastaví v módu A squawk 1000, což slouží k tomu, aby zbytečně nezabíralo jiný kód odpovídače. Obecně lze říci, že v oblastech směrem na východ není technika zatím schopná přijímat odpovědi módu S, a proto se letadlům letícím směrem na východ stále přiděluje kód odpovídače v módu A. Směrem na západ je již zabezpečovací letecká technika vybavená na přijímání odpovědí módu S. Problém nastává, pokud pilot do

odpovědače špatně zadá identifikaci letadla (číslo letu nebo registraci letadla), a následně nedojde ke korelaci radarové informace s letovým plánem. Stačí pouze chyba v syntaxi zadané informace, tj. místo KLM511 pilot zadá KLM-511, a nedojde ke korelaci. Pilot navíc nemůže tuto informaci změnit během letu. Vzhledem k tomu, že řídící letového provozu v Brně - Tuřanech „nevidí“ letadlo připravující se k odletu na obrazovce radaru, nemůže ověřit, zda pilot správně zadal identifikaci letadla a zda dojde ke spárování informace z radaru s letovým plánem. V případě instalace multilateračního systému na letišti v Brně – Tuřanech by řídící viděl letadlo na obrazovce, a v případě zadání správných informací na palubě se mu na kraji obrazovky automatiky zobrazí elektronický strip, který vychází z podaného letového plánu. Pokud by však na palubě letadla došlo k chybnému zadání identifikace, řídící může posádku upozornit. Stejně tak se stane, i pokud odpovídač nepracuje správně z jiného důvodu.

5.5.3 Požadavky na A-SMGCS Level I

Hlavním cílem práce bylo navrhnout systém, který by umožňoval sledování letištní plochy. S využitím multilateračního systému bude možné sledovat cíle vybavené odpovídačem SSR. Za podmínek VFR bude provoz letiště řízen jako doposud, řídící však bude moci polohu letadel vybavených odpovídačem ověřovat na obrazovce. Za podmínek snížené viditelnosti se nedá předpokládat pohyb letadel, které nejsou vybaveny odpovídačem, a proto se řídící bude moci spolehnout na informace z obrazovky.

Dle EUROCAE ED-87B má A-SMGCS Level I poskytovat uživatelům situační povědomí. Stanoviště ŘLP by mělo splňovat následující požadavky:

- umožňovat rychlé zhodnocení situace
- uživatelsky příjemné prostředí
- minimalizovat množství vkládaných dat

Stanoviště řízení letového provozu je vybaveno obrazovkou, na které je zobrazena:

- Statická mapa schematicky zobrazující celé letiště
- Dynamicky se pohybující symboly s popisky představující aktuální pozice cílů na letišti a jejich identifikaci
- Historii pohybů symbolů

- Grafické či textové možnosti (menu) umožňující vkládání uživatelských nastavení A-SMGCS
- Další požadované informace (např. seznam příletů, letové plány atd.)
- Informace o stavu pojezdových ploch a runway

Z výše zmíněného dokumentu také vychází následující požadavky:

Požadavky	A-SMGCS Level I
Pravděpodobnost detekce	≥99,9 % na provozních plochách ≥98 % na odbavovacích plochách
Pravděpodobnost chybné detekce	≤10 ⁻³ za report
Pravděpodobnost identifikace spolupracujících cílů	≥99,9 % na provozních plochách ≥98 % na odbavovacích plochách
Přesnost určení polohy	≤7,5 m (95 %) na provozních plochách ≤12 m na odbavovacích plochách
Přesnost určení rychlosti	<5 m/s
Rychlost obnovy informací	Alespoň 1 za sekundu

Tab. 2 Požadavky na A-SMGCS Level I dle ED-87B [26]

5.5.4 Požadavky na MLAT systém jako součásti A-SMGCS Level I

Multilaterační systém pro sledování letištní plochy musí mít dle EUROCAE ED-117 následující části:

- Přijímací stanice rozmístěné v okolí letištní plochy
- Dotazovací stanice rozmístěné v okolí letištní plochy
- Antény přijímačů a dotazovačů
- CPS (Central Processor System), který je spojen s přijímači/ dotazovači
- Synchronizační systém pro TDOA (pokud je potřeba)
- Testovací odpovídač
- Nepřerušitelný zdroj elektrické energie
- Systém ochrany proti bleskům
- LCMS (Local Control and Monitoring System)
- Rozhraní multi-senzorového systému [27]

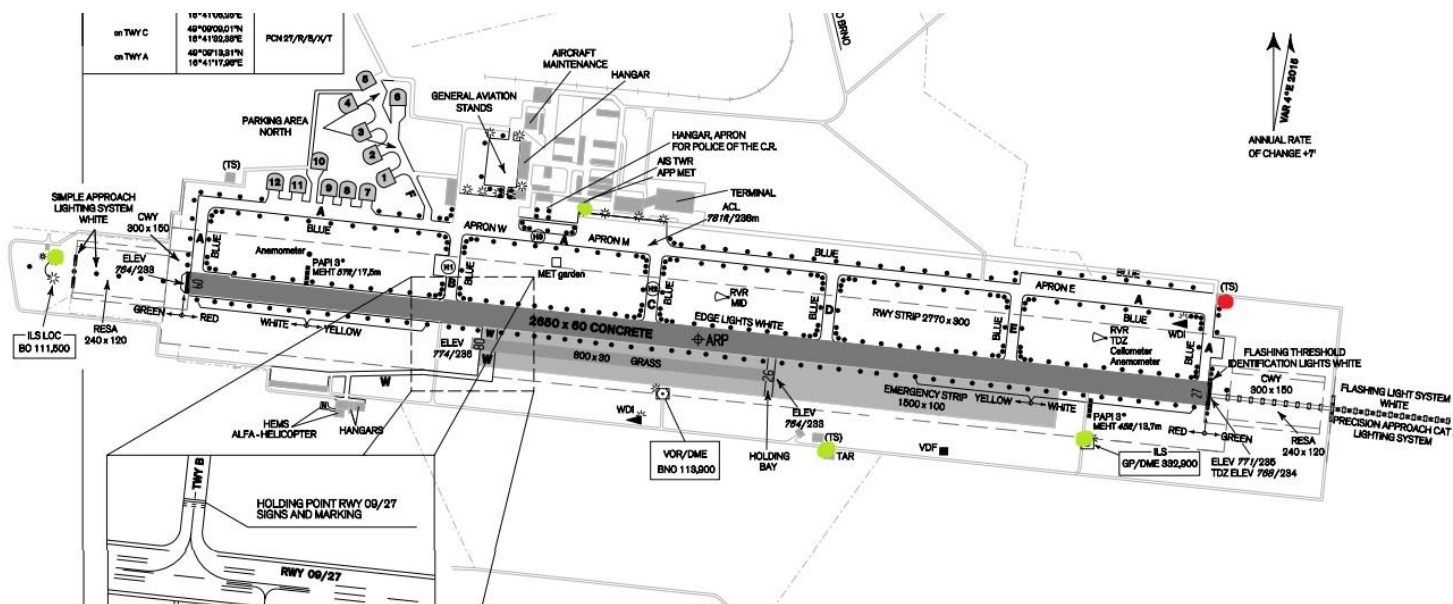
Všechny části systému, kromě odpovídačů na palubách a odpovídačů na vozidlech, jsou pozemní a jsou pevné. Přijímací stanice musí být rozmístěny v okolí letiště tak, aby současně alespoň 3 nebo 4 „viděly“ na každé místo na letišti, které má být pokryto. Toto pokrytí by se mělo vztahovat na všechny pohybové plochy letiště, a to až do výšky 100 m nad plochou letiště a do vzdálenosti 5 NM ve směru využívaném pro přílety a odlety. Systém by měl být navržen tak, že porucha jedné přijímací nebo dotazovací stanice nezpůsobí poruchu celého systému. Systém musí být také navržen tak, aby zahrnoval systém monitorování výkonu a integrity, založený na pevném pozemním testovacím cíli, který umožní ověření správné funkčnosti systému. Pro přenos informací se používá formát ASTERIX (All Purpose Structured Eurocontrol Surveillance Information Exchange). Jedná se binární formát přenosu dat mezi sledovacím systémem a jednotkou zpracování dat řízení letového provozu.[27]

5.6 Technické řešení pro letiště Brno - Tuřany

5.6.1 Sledování letištní plochy

V současné chvíli je přímo v prostoru letiště Brno – Tuřany umístěna jedna přijímací/dotazovací stanice multilaterace, která je součástí WAM systému a která je umístěna na budově transformátoru severně od prahu dráhy 27. Na plochu letiště také vidí další přijímací/dotazovací stanice umístěná asi 4 km severně od prahu dráhy 27 na kopci Hraničky. Pro zavedení multilateračního systému pro sledování pohybů letadel a vozidel po letišti je nejprve nutné zvýšit počet přijímacích stanic. I když jsou přijímací stanice kompaktní a mají malé požadavky na podpůrnou konstrukci, bude z ekonomických důvodů vhodné využít již stojící stavby v prostoru letiště. Nejsložitější je však řešení datového a elektrického spojení stanic s CPS, a proto byla vybrána místa, která již mají datové napojení na ŘLP v Brně - Tuřanech a mají dostupné připojení ke zdroji elektrické energie. Po konzultaci s technickým úsekem ŘLP byla vybrána následující umístění:

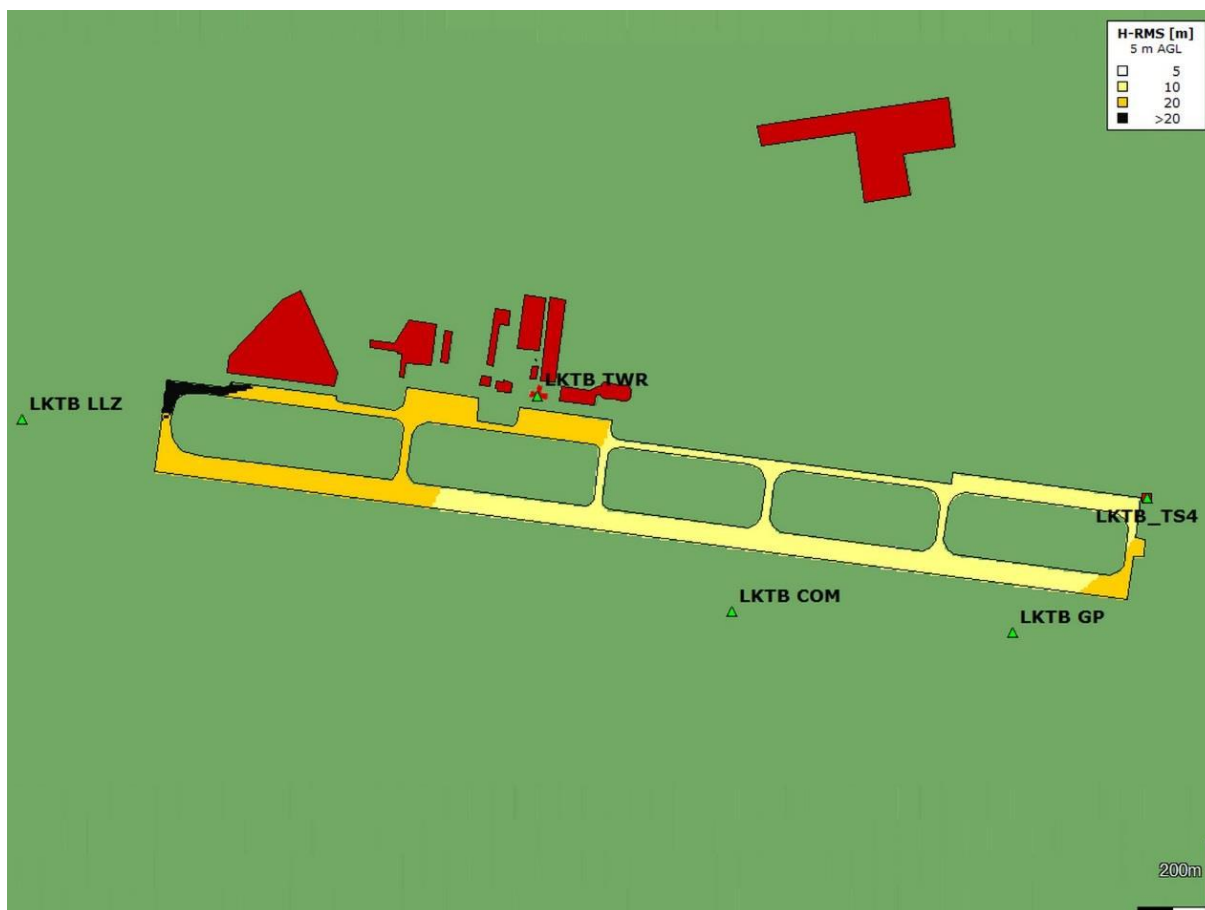
- Řídicí věže letiště Brno – Tuřany (TWR) - 49°09'15,996"N, 16°41'23,720"E 20m nad terénem
- Stanice sestupového majáku ILS GP - 49°08'55,293"N, 16°42'27,353"E 12m nad terénem
- Stanice přibližovacího radaru- 49°08'57,103"N, 16°41'49,907"E 8m nad terénem
- Stanice ILS LLZ - 49°09'13,962"N, 16°40'15,201"E 6m nad terénem



Obr. 21 Rozmístění stanic MLAT- stávající stanice- červená, nové stanice- zelené

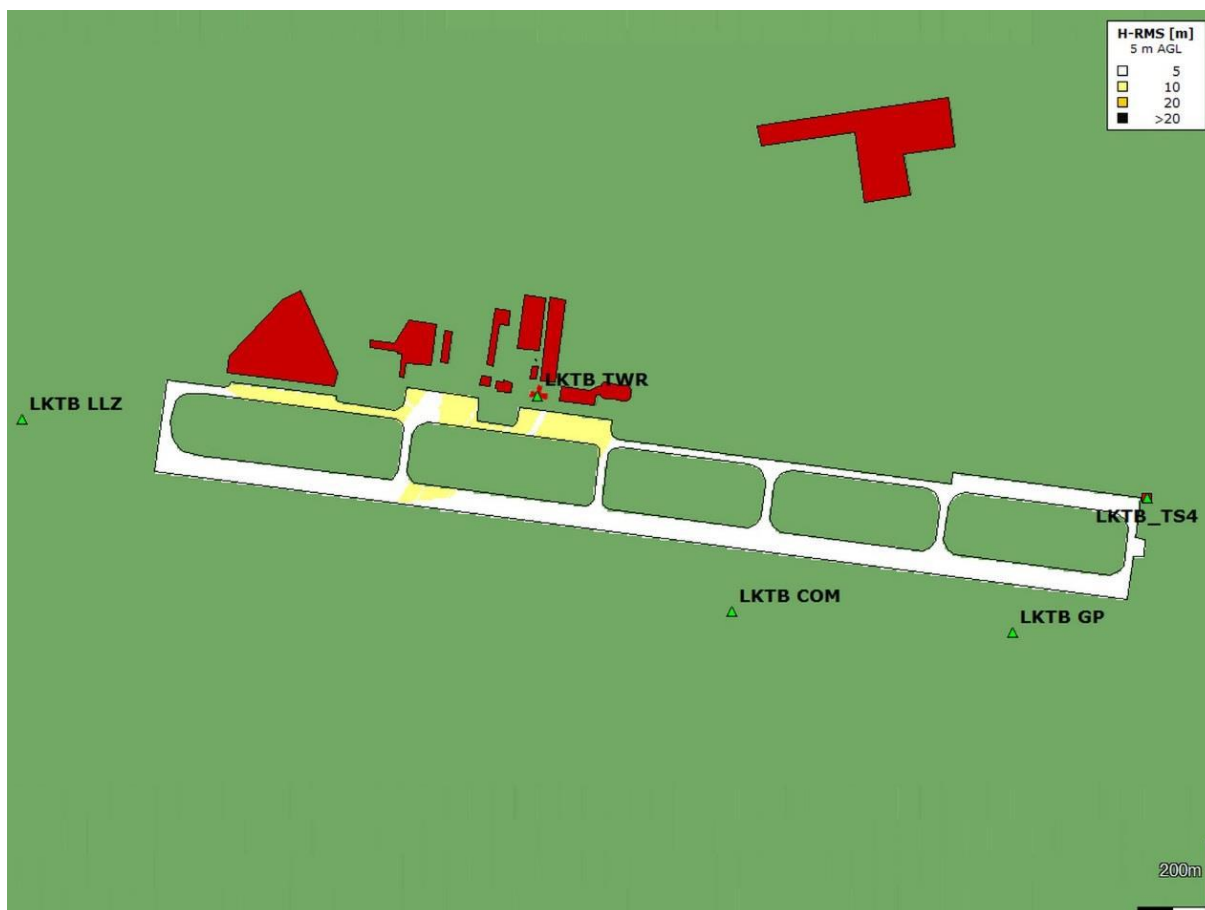
Nově vzniklé stanice jsou v mapě zaznačeny zelenou barvou, stávající stanice je zaznačena barvou červenou. Dle zde navrženého rozmístění stanic byly v softwaru společnosti ERA a.s. vytvořeny schematické mapy pokrytí a přesnosti určení polohy. Pro simulaci rozložení letiště byly použity zjednodušené 3D modely budov, pro simulaci terénu v okolí letiště byla použita data DTED 1 (Digital Terrain Elevation Data), která však nezahrnují budovy, stromy či jiné podobné objekty.

Na první mapě je zobrazena přesnost pokrytí letiště s využitím stanice pouze v prostoru letiště. Z obrázku je patrné, že požadované přesnosti dle EUROCAE ED-87B by bylo dosaženo pouze na odbavovací ploše východ (Apron E), která se navíc v běžném provozu prakticky nevyužívá.



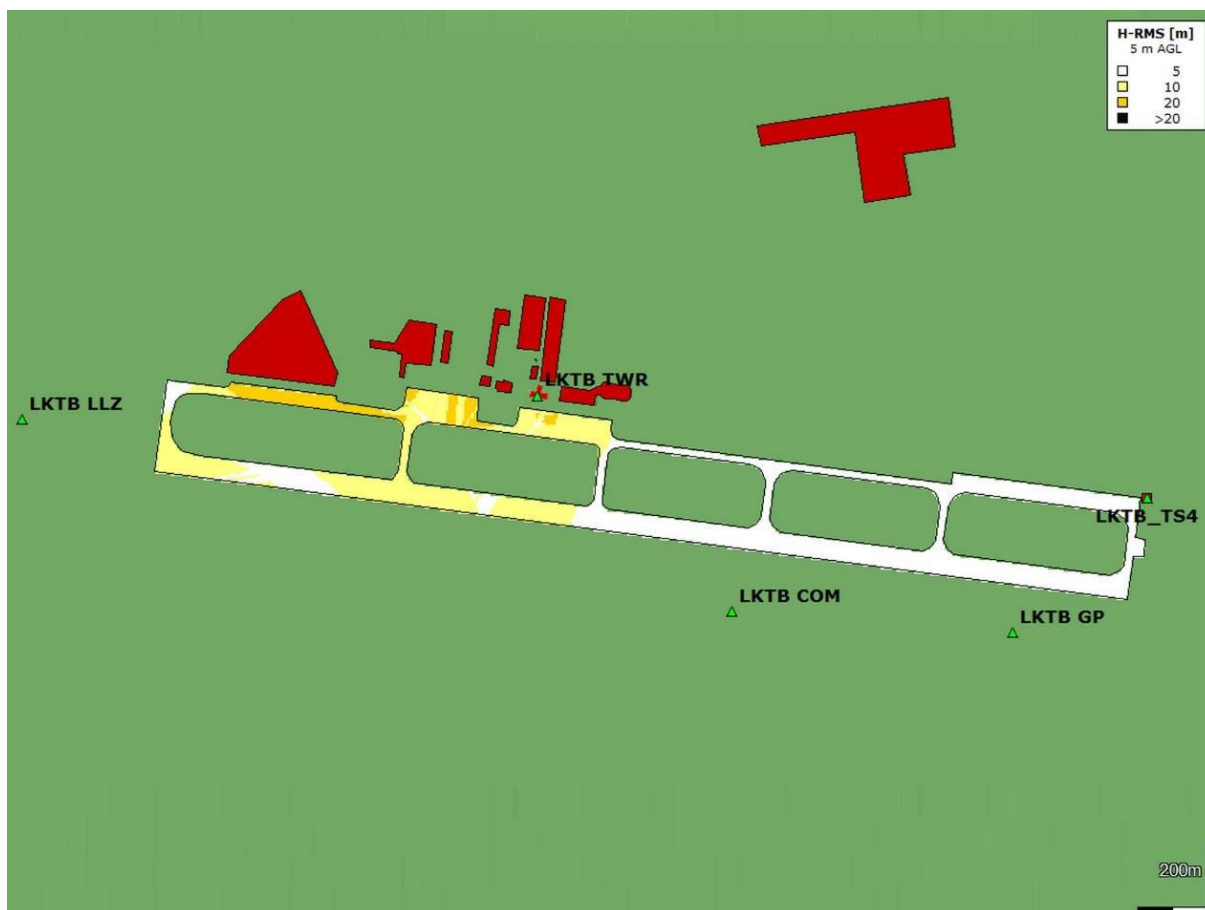
Obr. 22 Přesnost určení polohy s využitím letištních stanic, vytvořil Ondřej Neuman, publikováno se svolením společnosti ERA a.s.

Pokud nové přijímací stanice zapojíme do stávajícího WAM systému, získáme data i z dalších přilehlých přijímacích stanic. V blízkém okolí letiště se nachází již zmíněná stanice Hraničky, ve vzdálenějším pak stanice Ivančice, Nikolčice, Hradisko a Rozdrojovice. S využitím dat ze všech těchto přijímacích stanic již získáme požadovanou přesnost.



Obr. 23 Přesnost určení polohy s využitím všech přilehlých stanic, vytvořil Ondřej Neuman,
publikováno se svolením společnosti ERA a.s.

Přesnost určení polohy na provozních plochách je téměř na všech místech menší než 5m, na odbavovacích plochách přesnost určení polohy kolísá mezi 5 a 10 m. Je nutné uvažovat, že se jedná pouze o simulaci, v reálném prostředí, kde budovy nejsou pouze zjednodušeným 3D modelem, a kde např. bývalé vojenské hangáry v severozápadní části letiště nejsou spojitým objektem, se přesnosti mohou lišit, a to jak k lepšímu, tak k horšímu. Systém vykazuje vysokou spolehlivost, protože při výpadku jakékoli přijímací stanice nedojde ke ztrátě pokrytí na žádném místě na ploše letiště. Vysoká redundance je zajištěna zejména napojením na stávající WAM systém. Následující mapa zobrazuje nejnižší dosaženou přesnost při výpadku jedné pozemní stanice - Nikolčice. Z mapy je však patrné, že i při tomto výpadku je na více než polovině letiště poloha určena s přesností 5m.



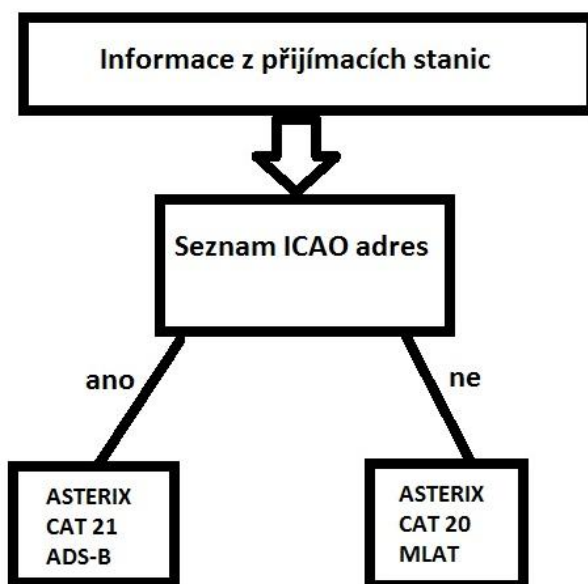
Obr. 24 Přesnost určení polohy bez stanice Nikolčice, vytvořil Ondřej Neuman, publikováno se svolením společnosti ERA a.s.

5.6.2 Sledování vozidel

Tímto systémem by mělo být zajištěno sledování letadel. Protože je však nutné sledovat i vozidla pohybující se po ploše letiště, bude třeba je vybavit odpovídači. Jako vhodné se jeví využít produktu SQUID české firmy ERA a.s., která je zároveň dodavatelem WAM systému a bude zřejmě i dodavatelem popsaného multilateračního systému. SQUID je kompaktní cenově dostupný odpovídač konstruovaný pro umístění na vnější části vozidla např. na střeše. Je vybaven GPS přijímačem a je plně kompatibilní se systémem ADS-B. Poloha vozidla tedy může být určována jak multilaterací, tak pomocí ADS-B. Další výhodou je jeho přenosnost, takže např. při právě probíhajících opravách pojízděcích ploch je možné dočasně toto zařízení umístit na techniku provádějící opravu (např. na bagr) a po skončení oprav jej opět sejmout. SQUID je navíc možné umístit na jakoukoli jinou dočasnou překážku.

Dle zkušeností se zaváděním podobného systému na letišti Leoše Janáčka v Ostravě bude vhodné pro letadla a vozidla zvolit rozdílné přístupy. Testování ukázalo, že poloha vozidel,

kteřá jsou pŕíliš blízko větších objektů napŕ. hangáŕů nebo terminálu, není multilaterací určena s dostatečnou pŕesností, protože dochází k odrazům elektromagnetických vln od těchto objektů. U letadel bylo experimentálně zjišřeno, že se nikdy nedostanou k těmto objektům tak blízko, aby odrazy elektromagnetických vln způsobily výrazné snížení pŕesnosti určení polohy. Bylo proto rozhodnuto, že poloha vozidel bude z výše uvedených důvodů určována pomocí ADS-B.



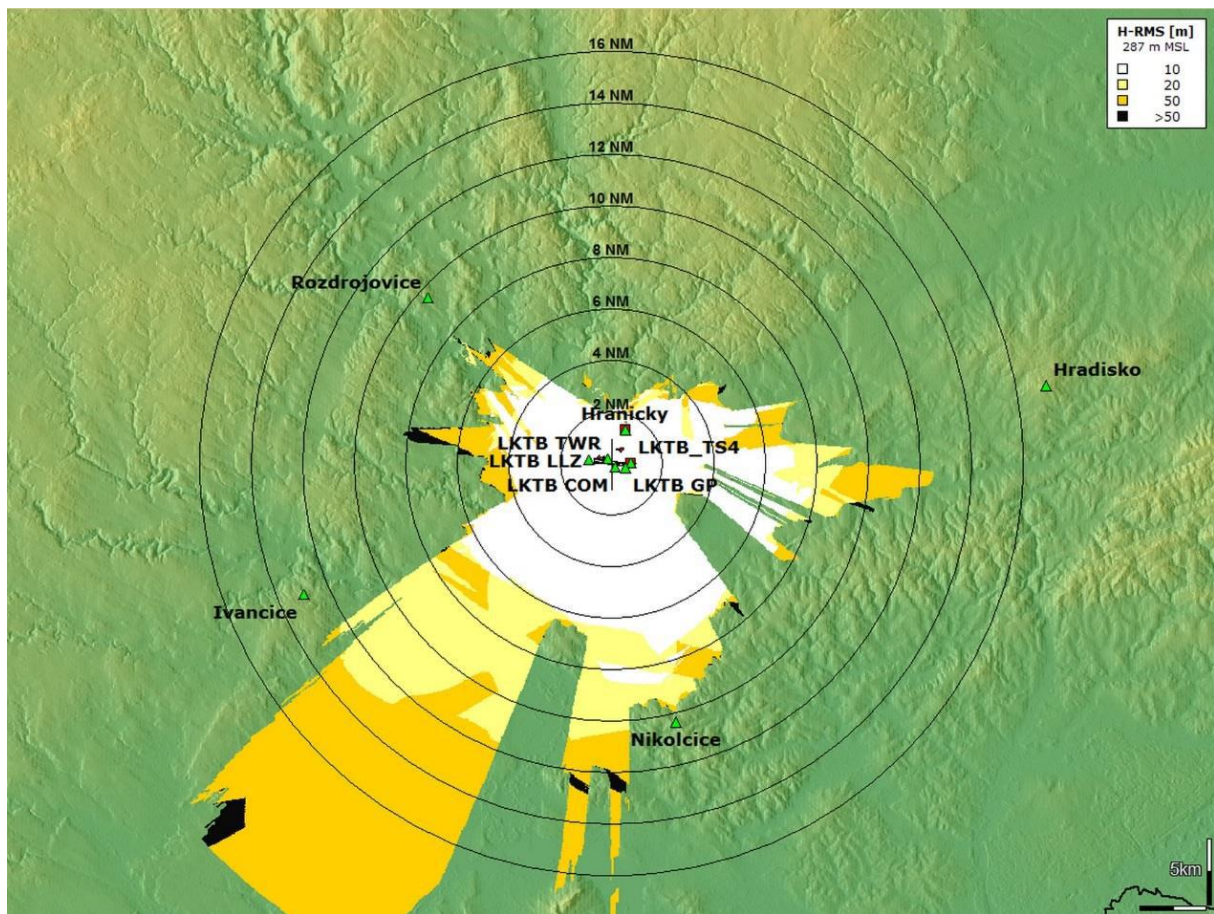
Obr. 25 Logický sled detekce letedel a vozidel

Do systému tedy budou muset být vloženy všechny ICAO adresy těchto SQUIDů. Pokud pŕijatá adresa bude uložena v systému, použije se pŕenosového protokolu pro ADS-B ASTERIX CAT 21, pokud adresa v systému nebude, použije se protokolu pro multilateraci ASTERIX CAT 20. Tímto způsobem je zaručeno, že poloha všech vozidel je určována pomocí ADS-B a poloha všech letadel multilaterací.

5.6.3 Sledování provozu v okolí letiště

Jedním z požadavků EUROCAE ED-117 pro využití multilaterace jako součásti A-SMGCS je možnost sledovat vzdušný prostor v okolí letiště do vzdálenosti alespoň 5NM ve směru používaném pro pŕiletý a odlety. Z výše pŕiložených obrázků 19 a 20 je navíc patrné, že okolí letiště v současné chvíli není sledováno systémem závislého pŕehledu. Rozmístěním nových pŕijímacích stanic multilaterace a rozšířením současného WAM systému dojde k odstranění

tohoto problému. Níže přiložená mapa zobrazuje pokrytí vzdušného prostoru v blízkém okolí letiště za využití všech přijímacích stanic.



Obr. 26 Pokrytí okolí letiště s využitím MLAT, vytvořil Ondřej Neuman, publikováno se svolením společnosti ERA a.s.

5.6.4 Uživatelské rozhraní

Cílem instalace systému sledování letištní plochy je zlepšení situačního povědomí řídicího, zejména za podmínek snížené viditelnosti. V tomto případě bude řídicí letového provozu jediným přímým uživatelem, tj. jako jediný bude mít před sebou obrazovku s aktuálním provozem na ploše letiště. Stanoviště ŘLP nebude potřeba výrazně upravovat, přibude pouze jedna obrazovka, na které bude zobrazena aktuální situace na pozadí mapy letiště. Z důvodu snižování nákladů bude vhodné použít stejný software jako je již v provozu na letišti Leoše Janáčka v Ostravě.



Obr. 27 Obrazovka řídicího na letišti Leoše Janáčka v Ostravě, publikováno se souhlasem ŘLP ČR s.p. Řídicí tedy před sebou bude mít velmi podobné uživatelské rozhraní, na kterém se budou zobrazovat všechna letadla/vozidla vybavena odpovídáčem, a jako podklad slouží mapa letiště s popisem provozních ploch. Zároveň systém zobrazení umožňuje:

- Označovat úseky drah a/nebo pojezděcích ploch, které jsou uzavřené nebo jsou s jiným omezením,
- zobrazovat výpis volacích znaků vozidel, které jsou na provozních plochách,
- zobrazovat tabulku přiletů s informací, za jak dlouho bude letadlo v bodu dosedu
- možnost manuálního dokreslení libovolných údajů a textů
- možnost doplnění obsahu formuláře u jednotlivých cílů.

Samozřejmostí jsou funkce, jako je možnost přiblížení libovolného části letiště, změny rozsahu apod. Domnívám se, že pro větší přehlednost by bylo vhodné systém doplnit o barevné rozlišení vozidel podle jejich účelu (např. vozidla zimní údržby by byla označena modře, vozidla ŘLP červeně, vozidla handlingu žlutě...), což by mohlo vést k větší přehlednosti a efektivitě pohybů, např. při zimní údržbě.

5.6.5 Plnění požadavků dle EUROCAE ED-87B

V kapitole 5.5.3 byly uvedeny požadavky na systém pro A-SMGCS Level I. Systém, který je navrhován v této práci, by měl být schopen dosáhnout výše uvedených parametrů. U některých hodnot již bylo demonstrováno, že v teoretických simulacích jsou navrhované parametry lepší, než jak je vyžaduje ED-87B. V praxi je však nutné tyto hodnoty verifikovat. Pokud by se zjistilo, že při akceptačních testech v určité části letiště nebude některý z parametrů dodržen, je nutné zahrnout tu odchylku do studie bezpečnosti. Ta by měla navazovat na tuto práci a je nutné ji vypracovat před uvedením systému do provozu. Studie bezpečnosti by měla prozkoumat, jaký vliv má uvedená odchylka od požadovaného parametru, a měla by také představovat závěry a doporučení pro řídící. Je možné, aby na základě studie bezpečnosti byla do znázorněné mapy zaznačena oblast s odchylkami. Domnívám se však, že v tomto případě to nebude nutné, protože dle výše uvedených schémat pokrytí jsou parametry např. přesnosti určení polohy lepší, než je vyžadováno.

6. Ekonomický rozbor

Jedním z cílů této práce bylo navrhnout systém sledování letištní plochy pro letiště Brno - Tuřany, který by byl finančně dostupný. V této kapitole se pokusím vypočítat náklady na zřízení takového systému a pokusím se mnou dosažené výsledky porovnat s odhadovanou cenou instalace pojezdového radaru. Protože stávající WAM systém je produktem společnosti ERA a.s., bude vhodné předpokládat, že i dodavatelem systému, který je představen v této práci, bude tato firma. Výhodou celého projektu je, že v České republice již funguje multilaterační systém, a proto není potřeba vytvářet nový systém jen pro sledování letištní plochy v Brně - Tuřanech. Stávající systém je potřeba pouze rozšířit o čtyři nové přijímací stanice. Umístění těchto stanic je záměrně zvoleno tak, aby se využilo stávající datové infrastruktury, a tím se ušetřily náklady. Cena jedné přijímací stanice včetně instalace, infrastruktury (držáky, začlenění do sítě), náhradních dílů, testování, dokumentace, začlenění do konfigurace, remote control systému a diagnostiky, se pohybuje okolo 600 000 Kč. Stávající software není výrazně potřeba měnit, jedná se pouze o připojení nových stanic do systému. Výraznou položkou bude vybavení pozemních vozidel odpovídačem SQUID. Cena jednoho zařízení je okolo 50 000 Kč, přičemž bude důležité rozmyslet, kolik jich ve skutečnosti bude potřeba. Minimální odhadovaný počet vozidel, která se pravidelně

pohybují po provozních plochách, je 15. Celkový počet vozidel, která mají přístup na provozní plochu, se však dle odhadů vedení letiště pohybuje okolo stovky. Pro srovnání, na letišti Leoše Janáčka v Ostravě se systém osvědčil natolik, že celkem je SQUIDem vybaveno 78 vozidel. Domnívám se, že aby bylo využito možností systému, bylo by vhodné zakoupit dle mých odhadů asi 50 odpovídáčů. Dle zdrojů z ŘLP je mezi letištěm Brno - Tuřany a ŘLP uzavřena smlouva o vzájemné spolupráci a poskytování služeb, a ze zkušeností se zaváděním podobného systému na letišti Leoše Janáčka v Ostravě, by se letiště Brno – Tuřany finančně nepodílelo na pořizovacích nákladech na systém, avšak svá vozidla by musela vybavit SQUIDy za vlastní náklady. SQUIDům je také potřeba přidělit ICAO 24- bitovou adresu, což však provádí ÚCL zdarma. Další položkou jsou režie výrobce, které by dle odhadů neměly překročit 300 000 Kč.

Systém je natolik intuitivní a jednoduchý, že nevyžaduje speciální školení personálu. Řídící je se systémem a jeho funkcemi seznámen při akceptačních testech, čímž nevznikají zvláštní finanční náklady na školení obsluhy.

Další položkou, kterou by bylo potřeba zohlednit, je cena údržby. Zde je však již uzavřena smlouva mezi dodavatelem a ŘLP na údržbu stávajícího WAM systému, která se při zvýšení počtu stanic nezmění. S náklady na údržbu tedy nemusíme kalkulovat.

V následující tabulce je provedena kalkulace výše uvedených nákladů.

Název položky	Cena za jednotku	Počet jednotek	celkem
Přijímací stanice	600 000 Kč	4	2 400 000 Kč
SQUID	50 000 Kč	50	2 500 000 Kč
Režie dodavatele	300 000Kč	1	300 000 Kč
Celkové náklady			5 200 000 Kč

Tab. 3 Kalkulace nákladů na zprovoznění systému sledování letištní plochy

Je nutné uvést, že se jedná o kvalifikovaný odhad nákladů, výsledná cena se však může lišit.

Zajímavé je i porovnání s náklady na instalaci pojezdového radaru. Vzhledem k podobnosti rozložení provozních ploch letiště Brno - Tuřany a letiště Leoše Janáčka Ostrava, budeme opět vycházet z již provedených kalkulací pro letiště Leoše Janáčka v Ostravě. Pořizovací cena SMR pro ostravské letiště byla odhadnuta na 15 000 000Kč [28], přičemž je potřeba připočíst

náklady na výstavbu podpůrné konstrukce (v řádech jednotek milionů), vytvoření datové infrastruktury a softwaru. V neposlední řadě je také nutné počítat s vyššími náklady na údržbu, protože části rotační antény SMR jsou na údržbu náročnější. Dle odhadů by se tedy jednalo o přibližně dvaceti milionovou investici, která by, na rozdíl od zde navrhovaného systému, měla pouze jeden účel.

Vzhledem k tomu, že náklady by se rozdělily mezi ŘLP ČR s.p. a LETIŠTĚ BRNO a.s., domnívám se, že se jedná o cenově přijatelnou investici, která by přispěla ke zvýšení bezpečnosti.

7. Závěr

Cílem předkládané diplomové práce bylo analyzovat možnosti využití módu S pro monitorování pohybů po ploše letiště Brno - Tuřany. Práce se kromě teoretického popisu funkce sekundárního radaru recenzním způsobem zabývá jednotlivými systémy používanými pro sledování plochy letiště tak, aby čtenář získal ucelený obraz o dané problematice. Jádro práce pak tvoří rozbor podmínek na letišti Brno - Tuřany a praktický návrh řešení, který může být považován za základní studii proveditelnosti a může sloužit vedení letiště, případně ŘLP.

Multilaterační systém navržený v této práci není jednoúčelový, kromě možnosti sledování letištní plochy jako součásti systému A-SMGCS Level I, slouží jako zdroj dat nezávislého přehledu pro okolí letiště, zejména pod 1500ft AGL. Podstatou tohoto systému je přenos dat v módu S, který řídicímu umožňuje získat více informací z paluby letounu. Domnívám se, že v blízké budoucnosti bude rozšířena povinnost vybavení paluby odpovídačem módu S na všechna letadla, čímž se ještě zvýší využitelnost systému navrženého v této práci.

Možnost sledovat vozidla pohybující se po provozních a odbavovacích plochách letiště přispěje ke zvýšení bezpečnosti a může sloužit jako nástroj ke zvýšení efektivity pohybů. Systém je také plně kompatibilní s ADS-B, který zřejmě v blízké budoucnosti částečně nebo úplně vytlačí sekundární radary. Pro řízení letového provozu tedy tento systém představuje logický krok směrem k budoucím systémům, ale domnívám se, že formát přenosu dat v módu S přetrvá.

Z ekonomického hlediska si myslím, že se jedná o velmi zajímavou investici do zvýšení bezpečnosti a zlepšení situačního povědomí řídicího letového provozu. V porovnání s jinými systémy sledování letištní plochy se jedná o nejvýhodnější řešení. Dle mého názoru by instalace pojezdového radaru představovala čtyřnásobnou investici a zvýšené náklady na údržbu.

Doufám, že tato práce mapující problematiku sledování plochy letiště Brno - Tuřany poslouží jako základní impuls k realizaci tohoto systému.

8. Seznam použité literatury

1. SKOLNIK, Ml. *Introduction to Radar Systems*. Boston: McGraw-Hill, 1980.
2. STEVENS, M. *Secondary Surveillance Radar*. Boston: Artech House, 1988.
3. ŠEDIVÝ, P. *Sekundární přehledový radar SSR*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2001.
4. EUROCONTROL. *Principles of Mode S Operation and Interrogator Codes*. [online]. 2003 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z:
<http://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/surveillance-modes-principles-of-modes-operation-and-interrogator-codes-20030318.pdf>
5. KOHUTEK, J. *Přehledové radary v ČR*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 63 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Slavomír Vosecký, CSc
6. *Palubní přístroje, vybavení a letová dokumentace*. AIP [online]. 2013 [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: http://lis.rlp.cz/ais_data/aip/data/valid/g1-5.pdf
7. MAHAFAZA, Bassem R.. *Radar System analysis* [online]. [cit. 5.1.2015]. Dostupné z:
<http://books.google.cz/books?id=M-2RV0-QugoC&pg=PA8&lpg=PA8&dq=millimetric+Surface+movement+radar&source=bl&ots=GRZwGtyFo&sig=v7LIOUOVnRwMUKfqPjCk7O-hgxA&hl=cs&sa=X&ei=fuCFVPziGpLWaqKtgKAM&ved=0CG4Q6AEwDg#v=onepage&q=millimetric%20Surface%20movement%20radar&f=true>
8. BROUWER, Mark. *Wikipedia.cz* [online]. [cit. 5.1.2015]. Dostupné z:
http://en.wikipedia.org/wiki/Surface_movement_radar#mediaviewer/File:Ground_radar_EHAM.jpg
9. HEADWAY, Glenn. *Indracompany.com* [online]. [cit. 5.1.2015]. Dostupné z:
<http://www.indracompany.com/en/sector/ticketing-and-payment-systems/air-traffic>
10. O'NEIL, Kim. *Surface movement radar* [online]. [cit. 5.1.2015]. Dostupné z:
<http://www.aatl.net/publications/smrssystem.htm>

11. ERA A.S. *Multilateration nad ADS-B* [online]. [cit. 5.1.2015]. Dostupné z:
<http://www.multilateration.com/surveillance/multilateration.html>
12. COTTON, William. *Multilateration Low-cost Surveillance for the Transition to ADS-B* [online]. [cit. 5.1.2015]. Dostupné z:
http://www.avmgt.com/ama/AMA_Publications/Entries/2006/5/17_Multilateration_Low-cost_Surveillance_for_the_Transition_to_ADS-B.html
13. AUTOR NEUVEDEN. *Expanding Aviation Capacity With-Saab-Air-Traffic Management Solutions* [online]. [cit. 5.1.2015]. Dostupné z:
<http://www.saabgroup.com/en/Markets/Saab-Indonesia/Saab-in-Focus/Expanding-Aviation-Capacity-With-Saab-Air-Traffic-Management-Solutions/>
14. FAA. *Federal Aviation Administration* [online]. [cit. 5.1.2015]. Dostupný z:
http://www.faa.gov/nextgen/media/ng2009_implementation_plan.pdf
15. DIAMOND, Mellissa. *ADS-X* [online]. [cit. 5.1.2015]. Dostupný z:
<http://era.aero/technology/ads-x/>
16. GULDER, Alfred. *AUSTRIA'S WIDE AREA MULTILATERATION*. [online]. [cit. 2015-01-10]. Dostupné z:
<http://www.acac.org.ma/ar/Workshop%20Presentation/WPSurveillancePPT08.pdf>
17. ICAO. *ADS-B Implementation and operations guidance document* [online]. [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: http://www.icao.int/APAC/Documents/edocs/adsb_aigd4.pdf
18. AUTOR NEUVEDEN, *Statistic analysis of airplane accidents* [online]. [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: <http://www.1001crash.com/index-page-statistique-lg-2-numpage-3.html>
19. PŘIBYLA, David. *Zabezpečení a řízení letového provozu* [online]. [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: http://www.fd.cvut.cz/projects/k621x1rl/dokumenty/A-SMGCS_22_1_06_final.pdf
20. ADAMSON, Peter. *A-SMGCS Project Strategy* [online]. [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: <http://www.eurocontrol.int/airports/projects/asmgcs/index.html>

21. ŘLP ČR s.p., LIS, *Předpis L-6 Provoz letadel* [online]. [cit. 2015-05-23]. Dostupné z:
<http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
22. ŘLP ČR s.p., LIS, *Předpis L-14 Letiště* [online]. [cit. 2015-05-23]. Dostupné z:
<http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
23. ŘLP ČR s.p., AIP. *BRNO/Tuřany* [online]. [cit. 2015-05-23]. Dostupné z:
http://lis.rlp.cz/ais_data/aip/data/valid/a2-tb-txt1.pdf
24. ŘLP ČR s.p., AIP. *Aerodrome Chart* [online]. [cit. 2015-05-23]. Dostupné z:
http://lis.rlp.cz/ais_data/www_main_control/frm_cz_aip.htm
25. TARASOVIČOVÁ, N. *Mlhy a dráhová dohlednost na letišti Brno-Tuřany*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 48 s. Vedoucí bakalářské práce RNDr. Karel Krška, CSc..
26. EUROCAE, *ED-87B- Minimum aviation performance specification for advanced surface movement guidance and control systems*. Malakoff: EUROCAE, 2008.
27. EUROCAE, *ED-117- Minimum operational performance specifications for mode S multilateration systems for use in A-SMGCS*. Malakoff: EUROCAE, 2008.
28. MIČKAL, O. *Optimalizace prostředků ZLT na letišti Ostrava (náhrada pojezdového radaru)*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 67s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Slavomír Vosecký, CSc..

9. Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam	Český překlad
ACAS	Airborne Collision Avoidance System	Palubní antikolizní systém
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance-Broadcast	Automatický závislý přehled- vysílání
AGL	Above Ground Level	Výška nad terénem
AMSL	Above Mean Sea Level	Výška nad střední hladinou moře
A-SMGCS	Advanced Surface Movement Guidance and Control System	Systém řízení a kontroly pohybů po ploše letiště
ASTERIX	All Purpose Structured EUROCONTROL Surveillance Information Exchange	Datový přenosový formát dle EUROCONTROL
ATC	Air Traffic Control	Řízení letového provozu
ATIS	Automatic Terminal Information Service	Automatická informační služba v koncové řízené oblasti
CAT	Category	Kategorie přesného přístrojového přiblížení na přistání
CPS	Central Processor System	Centrální výpočetní jednotka
CTR	Control Zone	Řízený okresek
CW	Continuous Wave	Stálá vlna
DME	Distance measuring Equipment	Radionavigační zařízení pro měření šikmé vzdálenosti
DOP	Dilution of Precision	Chyba přesnosti
DTED	Digital Terrain Data	Digitální data terénu
EHS	Enhance Surveillance	Zlepšený dohled
ELS	Elementary Surveillance	Základní dohled
FIR	flight information region	Letová informační oblast
FIS-B	Flight information Service	Letová informační služba
FL	Fligh Level	Letová hladina
GNSS	Global Navigation Satellite System	Globální satelitní navigační systém
GP	Glide Path	Sestupový maják
GPS	Global Positioning System	Globální polohovací systém
IC	Interrogator Code	Kód dotazovače
ICAO	International Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
IFF	Identification Friend or Foe	Identifikace přítel/nepřítel
IFR	Instrument Flight Rules	Let podle přístrojů
ILS	Instrument Landing System	Elektronický přístrojový přistávací systém
LCMS	Local Control and Monitoring System	Místní kontrolní a monitorovací systém
LLZ	Localizer	Kurzový maják
METAR	Message d'observation météorologique régulière pour l'aviation	Pravidelná letecká meteorologická zpráva
MTOW	Maximal Take-Off weight	Maximální vzletová hmotnost
NexGen	Next Generation	Program „nové generace letecké dopravy“
NOTAM	Notice to Airmen	Zpráva pro letce

PAPI	Precision Approach Path Indicator	Indikátor přesného přiblížení na přistání
PRF	Pulse Repetition Frequency	Opakovací frekvence pulzu
RIMCAS	Runway Incursion Monitoring and Conflict Alert System	Systém výstrahy před střety na runway
RSLs	Reply- Path Side-Lobe Suppression	Systém potlačování nesynchronního rušení
RVSM	Reduced Vertical Separation Minima	Snížení minim vertikálních rozstupů
RWY	Runway	Vzletová a přistávací dráha
ŘLP		Řízení letového provozu
SESAR	Single European Sky ATM Research	Evropský výzkumný program řízení letového provozu
SMR	Surface Movement Radar	Pojezdový radar
SPECI	Special	Zpráva vydávaná při náhlé změně počasí mezi zprávami METAR
SPI	Special Position Identifier	Identifikátor polohy
SSR	Secondary Surveillance Radar	Sekundární přehledový radar
TDOA	Time Difference of Arrival	Časový rozdíl příchodu signálu
TIS-B	Traffic Information Service- Broadcast	Informační služba o provozu
TMA	Terminal Maneuvering Area	Řízená oblast
TWR	Tower	Věž řízení letového provozu
UAT	Universal Access Transceivers	Univerzální komunikační kanál
ÚCL		Úřad pro Civilní Letectví
VFR	Visual Flight Rules	Pravidla pro létání za vidu
VHF	Very High Frequency	Velmi krátké vlny
VOR	VHF Omni directional Radio Range	VKV všesměrový radiomaják
WAM	Wide Area Multilateration	Multilaterační systém na větším území