



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Ústav letecké dopravy

**Způsoby detekce pozice letadel na vyčkávacích
místech RWY**

Bakalářská práce

Petr Had

Praha 2019



K621**Ústav letecké dopravy**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Petr Had

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – LED – Letecká doprava

Název tématu (česky): **Způsoby detekce pozice letadel na vyčkávacích místech RWY**

Název tématu (anglicky): **Methods of Detecting Aircraft Positions at Runway Holding Points**

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Popis problematiky letadel vyčkávajících na vzlet z křižovatky
- Modelová situace
- Technické možnosti řešení
- Zhodnocení možností pro použití v praxi
- Návrh řešení modelové situace

- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Letecký předpis L14 - Letiště
ICAO doc. 9157 Aerodrome design manual
ICAO doc. 9830 Advanced surface movement guidance and control systems (A-SMGCS) manual

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Líkař
Ing. Slobodan Stojíc

Datum zadání bakalářské práce:

19. října 2018

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce:

26. srpna 2019

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
- b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia



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



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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.



Petr Had
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 20. května 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 26. 8. 2019



.....
Podpis

Poděkování

Rád bych vyjádřil svou vděčnost Ing. Petru Líkařovi a Ing. Slobodanovi Stojíčkovi za jejich čas, ochotu, věcné připomínky a laskavé vedení, které dalo vzniknout této práci. Další poděkování náleží mé rodině za nekonečnou podporu.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je návrh a popis metod, kterými lze detekovat pozice letadel v případě, kdy posádka neobdrží povolení k nájedu na dráhu již v průběhu pojíždění a musí tedy zastavit na vyčkávacím místě dráhy a stát, dokud jej neobdrží. V první části práce je popsána problematika letadel při vyčkávání na vzlet z křižovatky a je vymezen základní rámec legislativy s tím související. Následující část je zaměřena na popis a zobrazení modelové situace popsaného problému. Modelová situace je vytvořena na základě průměrné minimální vzdálenosti os pojezdových drah od vyčkávacího místa na vybraných letištích v Evropě. V další části jsou popsány technické možnosti, kterými lze dosáhnout řešení dané problematiky a následné vyhodnocení použitelnosti jednotlivých řešení v reálném provozu na letišti. Poslední část práce nabízí návrh řešení uvedené modelové situace s využitím technologie, která byla vyhodnocena jako nejvhodnější v předchozí části práce.

Klíčová slova: vyčkávací místo dráhy, pojezdová dráha, pohybová plocha, systém detekce pozice, bezpečná vzdálenost, modelová situace

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to propose and describe methods, which are able to detect aircraft positions in such cases, when the aircraft crew does not receive a permit to line up while taxiing, and is therefore obliged to stop at a holding point and remain there until the aircraft obtains the permit. The 1st section of the thesis describes the matter of airplanes waiting for the line up at a cross-section holding point and outlines the basic scope of the related legislation. The following part is focused on the description and a graphic demonstration of the issue. The situation model has been made according to the average distance of the taxiway centerlines from the holding points on selected airports in Europe. The next section defines technical possibilities, with which it may be feasible to create a solution of the issue, including the applicability evaluation of the individual solutions in the real-life traffic on the airport. The last part of the thesis offers a suggestion of the solution, which is projected on a situation model, using the technology which was classified as the most suitable in the preceding part of the thesis.

Keywords: runway-holding position, taxiway, movement area, position detection system, safe distance, situation model

Obsah

1	Úvod	1
2	Popis problematiky	3
2.1	Legislativní základna	5
2.1.1	ICAO Annexes	5
2.1.2	ICAO doc. 9157 Aerodrome design manual	6
2.2	Popis stávajícího stavu	7
2.3	Požadavky na detekci	7
2.3.1	Přesnost určení polohy	7
2.3.2	Vliv povětrnostních podmínek	8
2.3.3	Identifikace typu letadla	8
3	Modelová situace	9
3.1	Popis modelu	10
3.1.1	Průjezd letadla kategorie C	13
3.1.2	Průjezd letadla kategorie D	13
3.1.3	Průjezd letadla kategorie E	14
3.1.4	Průjezd letadla kategorie F	15
4	Technické možnosti řešení	17
4.1	Laserové skenování	17
4.2	RADAR	18
4.2.1	Milimetrový radar	19
4.2.2	Pojezdový radar	20
4.3	Multilaterační systémy	21
4.4	ADS-B	23
4.5	Indukční smyčky	25
4.6	Snímač magnetického pole Země	27
4.7	Optoelektronické bezpečnostní závory	28
5	Zhodnocení možností pro využití v praxi	31
5.1	Laserové skenování	31

5.2	RADAR	31
5.2.1	Milimetrový radar	31
5.2.2	Pojezdový radar	32
5.3	Multilaterační systémy	32
5.4	ADS-B	33
5.5	Indukční smyčky	33
5.6	Snímač magnetického pole Země	34
5.7	Optoelektronické bezpečnosti závory	34
6	Výběr nejvhodnější varianty	36
6.1	Provoz systému	37
6.2	Možnost začlenění do systému A-SMGCS	37
6.2.1	Problematika začlenění do A-SMGCS	38
7	Návrh řešení modelové situace	39
7.1	Popis řešení modelové situace	40
8	Závěr	41
	Seznam použité literatury	43
	Seznam obrázků	51
	Seznam tabulek	51

Seznam použitých zkratek

2D	Two Dimensional	Dvourozměrný
3D	Three Dimensional	Trojrozměrný
ADS-B	Automatic dependent surveillance – broadcast	-
A-SMGCS	Advanced Surface Movement Guidance and Control System	-
A-VDGS	Advanced Visual Docking Guidance System	-
AVOL	Aerodrome Visibility Operational Level	-
EASA	European Aviation Safety Agency	Evropská agentura pro bezpečnost letectví
EDDT	Berlin Tegel Airport	-
EDFH	Frankfurt-Hahn Airport	-
EETN	Lennart Meri Tallinn Airport	-
EGGP	Liverpool Airport	-
EGKK	London Gatwick Airport	-
EGPH	Edinburgh Airport	-
EGSS	London Stansted Airport	-
EIDW	Dublin Airport	-
EKCH	Kobenhavn/Kastrup Airport	-
ESSA	Stockholm Arlanda Airport	-
EU	European Union	Evropská unie
EYVI	Vilnius Airport	-
FIS-B	Flight information services-broadcast	-
GNSS	Global Navigation Satellite System	-
ICAO	International Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
LDZA	Zagreb Airport	-
LEIB	Ibiza Airport	-
LEPA	Palma De Mallorca Airport	-
LFMN	Nice Cote D'Azur Airport	-
LGIR	Nikos Kazantzakis Airport	-
LGRP	Diagoras Airport	-
LICC	Catania Fontanarrosa Airport	-
LIDAR	Light Detection And Ranging	-
LIMC	Milano/Malpensa Airport	-
LIRF	Roma Fiumicino Airport	-
LIRN	Naples Capodichino	-
LKPR	Prague Airport	Letiště Praha
LSGG	Geneve Airport	-
MLAT	Multilateration	Multilaterace
MTOW	Maximum Take-Off Weight	Maximální vzletová hmotnost
NM	Nautical Mile	Námořní míle
RADAR	Radio Detection and Ranging	-
RWY	Runway	Dráha
SMR	Surface movement radar	Pojezdový radar
TDOA	Time difference of arrival	-
TWY	Taxiway	Pojezdová dráha
UAT	Universal Access Transceiver	-
UKBB	Kyiv Boryspil Airport	-

1 Úvod

Civilní letecká doprava je dynamicky se rozvíjejícím odvětvím, které se stává stále populárnějším, ať už při cestách za odpočinkem či za účelem obchodních cest. Děje se tak z důvodu příznivé finanční dostupnosti v souvislosti s rychlostí, komfortem a bezpečností cestování.

S tímto nárůstem počtu cestujících dochází ke zvýšení počtu letadel jak ve vzdušném prostoru, tak i na provozních plochách letišť. Rychlost růstu civilní letecké dopravy je však pro některá letiště výzvou z hlediska jejich omezené kapacity. Po celé Evropě je možné nalézt letiště, jež se svou kapacitou přibližují maximální hodnotě, popřípadě je kapacita některých jejich subsystémů například ve špičkových hodinách zcela vyčerpána. Tato situace může způsobovat s tím související problémy uvnitř terminálu, ale také na pohybových plochách, mezi které patří dráhy sloužící pro vzlety a přistání letadel, pojezdové dráhy či odbavovací plochy. [1]

Velký počet letadel a snaha o efektivní využití dostupné kapacity patří mezi aspekty vytvářející vysoké nároky na rychlost a plynulost odbavení jednotlivých letů. Snaha vyhovět těmto nárokům může být pro řídicí letového provozu, kterým je tento systém primárně určen, posádku letadla i letiště samotné výzvou, a to zejména z hlediska stálého udržení vysokého stupně bezpečnosti. Vzrůstající hustota provozu na letištní ploše může zvyšovat riziko vzniku konfliktních situací. Jedním z riskantních míst z pohledu bezpečnosti na pohybových plochách je křížení pojezdových drah poblíž vyčkávacího místa dráhy umožňující vzlet z křižovatky. Při míjení letadla projíždějícího k prahu dráhy s letadly vyčkávajícími na vzlet z křižovatky vzniká riziko střetu těchto dvou letadel. V závislosti na prostorovém uspořádání může jít o kontakt konce křídla projíždějícího letadla s ocasní částí letadla stojícího na vyčkávacím místě, popřípadě o kontakt koncových částí křídel obou letadel.

Popsaný problém může být řešen dvěma odlišnými způsoby. Prvním z nich je vybavení letadel příslušnými technologiemi pro detekci objektů v okolí jejich křídel. Tento způsob detekce by umožnil řešení výše popsané situace, nicméně pouze v případě, kdy by každé letadlo bylo vybaveno takovýmto systémem.

Druhým způsobem řešení je instalace detekční technologie v infrastruktuře letiště, konkrétně na místa, u kterých lze předpokládat kontakt vyčkávajícího letadla s projíždějícím, případně pokud je znám případ z minulosti, kdy na tomto místě k incidentu podobné povahy již došlo. Toto řešení umožní provozovateli letiště prevenci konfliktních situací na vyčkávacích místech bez potřeby vybavení letadel speciálními systémy.

Tato práce se zaměřuje na druhý popsáný způsob řešení. Klade si za cíl prozkoumat technické možnosti pro určení přesné pozice letadel na vyčkávacím místě dráhy a s využitím těch, které jsou pro danou situaci nejvhodnější, navrhnout řešení vytvořené modelové situace. Do rámce této práce byly mimo jiné zahrnuty systémy běžně používané na evropských letištích, mezi něž patří například pojezdový radar, laserové skenování, dále také ADS-B či multilaterační systémy. Všechny tyto systémy jsou schopné určovat polohu objektů, respektive narušení určitého prostoru, a jsou popsány v třetí kapitole této práce, včetně principu jejich fungování a uvedení přesnosti určení polohy.

Základním úkolem zvoleného systému je vytvoření dostatečného množství detekčních zón. Následně je třeba, aby s dostatečnou přesností určil, zda byla některá z těchto zón narušena. Narušení jedné či více zón některou z částí vyčkávajícího letadla je zachyceno systémem a informace je odeslána řídicímu letového provozu na letišti. Ten s využitím získané informace vyhodnotí, zda je průjezd aktuálně pojíždějícího letadla k prahu dráhy bezpečný.

Součástí zpracování této bakalářské práce je také vytvoření modelové situace, na níž je výše popsáný problém demonstrován. Celá modelová situace, včetně původu veškerých rozměrů, je popsána v druhé kapitole této práce. Poslední kapitola se zaměřuje na řešení této vytvořené situace s využitím systémů, které byly v předchozí části vyhodnoceny jako nejvhodnější pro využití v praxi.

2 Popis problematiky

Při provozu letiště za standardních podmínek se často vyskytují případy, kdy letadla nepojíždějí za účelem vzletu až na práh dráhy, ale využívají možnost vzletu z některé z bližších křižovatek. Tento způsob se používá v případech, kdy letadlo nepotřebuje k rozjezdu celou délku dráhy. Dochází tím k výraznému zkrácení času pojiždění a také k úspoře paliva. Zároveň je možné umístit na práh dráhy další letadlo čekající na odlet. Následně může být umožněn současný nájezd na dráhu obou vyčkávacích letadel, což má za následek zvýšení propustnosti letištní infrastruktury.

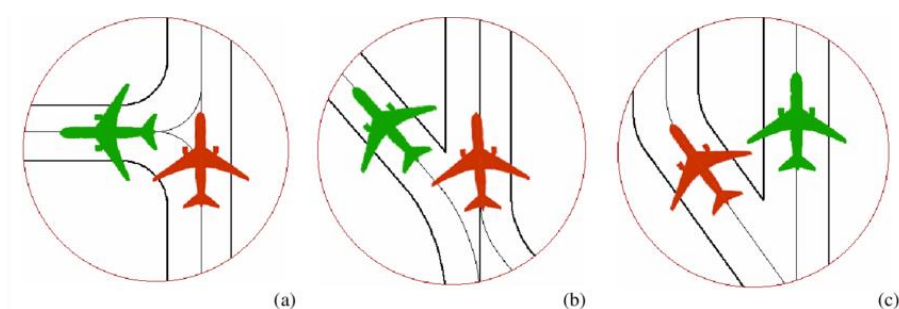
Jako prevence neautorizovaného narušení provozu na dráze musí posádka letadla před nájezdem na aktivní dráhu obdržet povolení od služby Řízení letové provozu. Dokud není povolení uděleno, je posádka pojiždějícího letadla povinna zastavit na vyčkávacím místě. Toto místo je lokalizováno alespoň v minimální vzdálenosti od osy dráhy. Tato minimální vzdálenost je stanovena předpisem. Pokud je vyčkávací místo dráhy vybaveno stop příčkou, je požadované, aby pilot zastavil na takovém místě, za kterého je mu umožněn přímý výhled na ni. Tím je zaručena schopnost pilota rozlišit, zda je stop příčka zapnuta či vypnuta.

Snahou provozovatelů letišť je umisťovat vyčkávací místa dráhy takovým způsobem, aby byl při zastavení letadla vyžadujícího vzlet z křižovatky umožněn průjezd všem kategoriím letadel za ním. Lze ale nalézt případy, ve kterých se vzdálenost vyčkávacího místa dráhy u křížení a osy pojižděné pojezdové dráhy blíží minimální hodnotě. Tato hodnota není přímo stanovena předpisem, ale je možné ji vypočítat odečtením minimální předpisové vzdálenosti mezi osou dráhy a vyčkávacím místem dráhy od minimální vzdálenosti osy dráhy a osy pojezdové dráhy. Například pro letiště kódového označení 4F je minimální vzdálenost mezi osou pojezdové dráhy a vyčkávacím místem dráhy 90 metrů.

V reálném provozu jednotlivá letadla zastavují v odlišných vzdálenostech od vyčkávacího místa. Tato proměnná je závislá na zkušenostech členů posádky daného letadla. Dále je dána vybavením konkrétního vyčkávacího místa dráhy. Je-li vyčkávací místo vybaveno stop příčkou, je posádka letadla povinna zastavit v dostatečné vzdálenosti, při které jí bude umožněn vizuální kontakt s touto příčkou. Takto danou vzdálenost nemusí být jednoduché odhadnout, a proto i dvě letadla stejného typu na totožném místě obvykle zastaví v odlišné vzdálenosti. V návaznosti na poloze letadla stojícího na vyčkávacím místě dráhy, respektive na délce jeho ocasní části přesahující mezilehlé vyčkávací místo, dochází k narušení průjezdných průřezů pro různé kategorie letadel. Velikosti průjezdných průřezů jsou stanoveny na základě maximálního možného rozpětí křídel dané kategorie letadel a minimální vzdálenost osy pojezdové dráhy od objektu pro letiště stejného kódového označení, jakého je i kategorie letadla. Pokud je plocha pro bezpečný průjezd letadla křížením narušena, vzniká

pravděpodobnost konfliktu. V případě letišť s větší vzdáleností mezi vyčkávacím místem dráhy a osou pojezdové dráhy může nastat i případ, kdy na vzlet z křižovatky vyčkávají dvě letadla za sebou.

Následně vyvstává otázka, zda je průjezdný profil za vyčkávacím letadlem, popřípadě druhým vyčkávacím letadlem, dostatečný pro průjezd letadla jedoucího na práh dráhy. Při míjení letadel na křížení vzniká riziko jejich střetu. Nejpravděpodobnější je kontakt konce křídla projíždějícího letadla s ocasní částí letadla vyčkávacího. Mezi další patří také kontakt mezi křídly obou letadel. Oba uvedené případy jsou vyobrazeny na obrázku níže (Obrázek 1). Na obrázku 1 vyobrazené zelené letadlo se nepohybuje a červené letadlo je v pohybu.



Obrázek 1: Možné konflikty letadel na pojezdových drahách [2]

Tato problematika může být z časového hlediska dlouhodobého nebo krátkodobého charakteru. Dlouhodobý charakter se projevuje u některých letišť, u kterých dochází ke změně směru využívání dráhy, zejména z důvodu změny směru větru vlivem klimatických změn. Tato letiště nemusejí mít na konci dráhy z dosud preferovaného směru vzletu a přistání v místě křížení dráhy s pojezdovou drahou dostatečný prostor pro vyčkávací letadlo, neboť pojezdová dráha dosud sloužila především pro vyklízení letadel z dráhy. Dalším případem, kdy nastává změna dlouhodobého charakteru je, že na letišti dochází k vysokému nárůstu provozu, na který ovšem z hlediska infrastruktury není připraveno.

Z hlediska krátkodobého charakteru se jedná o případy, kdy má letiště za standardních podmínek v daném místě dvě pojezdové dráhy v paralelním uspořádání, ale vlivem oprav dojde k uzavření té vzdálenější z nich. Následkem toho vyvstává výše popsany problém, tedy potenciální možnost střetu dvou letadel.

Příklady letišť, která mohou mít tento potenciální problém, lze najít v celé Evropě. Může se jednat o letiště ležící v pobřežních oblastech či na ostrovech. Mezi taková patří například Palma de Mallorca Airport nebo Catania Fontanarossa Airport. Pokud se zaměříme na letiště ležící ve vnitrozemí, může se jednat o Mezinárodní letiště Boryspil poblíž ukrajinského hlavního města Kyjeva.

2.1 Legislativní základna

Při řešení jakékoliv problematiky v oblasti letecké dopravy je nutno dodržet legislativní rámec. Legislativa řeší letiště jak z hlediska stavebního, tak i z hlediska provozního. Každé letiště se musí řídit národními předpisy a ustanoveními daného státu, ve kterém se letiště nachází. V České republice se jedná o Letecké předpisy řady L. Tyto předpisy jsou převzaty nebo obsahově vycházejí z předpisů mezinárodních organizací. V pravomoci každého státu je zpřísnění podmínek uvedených v mezinárodních předpisech. Jednou z těchto organizací, jež působí na území Evropské unie, je Evropská agentura pro bezpečnost v letectví (EASA). Jedná se o agenturu Evropské unie vykonávající dohled v oblasti civilního letectví. Mezi členy této organizace patří všechny členské státy Evropské unie a dále Island, Norsko, Švýcarsko a Lichtenštejnsko. [3] Ve členských státech zavádí jednotné regulační a certifikační postupy. Tato agentura k zadané problematice z hlediska návrhu vydala Rozhodnutí výkonného ředitele 2017/021/R ze dne 8. prosince 2017, s názvem CS-ADR-DNS. [4]

Mezinárodní organizace pro civilní letectví (ICAO) je další organizací, která se podílí na koordinaci oblasti mezinárodního civilního letectví. Vydává standardy a doporučené postupy prostřednictvím příloh (annexů) či podpůrných dokumentů, jakým je například dokument 9157 – Aerodrome Design Manual. [5]

Legislativním základem na národní úrovni v České republice, vztahující se k zadané problematice z hlediska návrhu letiště, je letecký předpis L14 – Letiště, vydaný Ministerstvem dopravy České republiky. Text leteckého předpisu L14 byl převzat z dokumentu ICAO Annex 14, Volume 1 - Aerodromes a upraven tak, aby na sebe jeho jednotlivé části navazovaly. [6] K zadané problematice se vyjadřuje také již zmíněný dokument 9157 Aerodrome Design Manual, vydaný organizací ICAO. Z hlediska provozní části je možno využít národní letecký předpis L2 – Pravidla létání vycházející z ICAO Annex 2 – Rules of the Air. [7] Důležité je podotknout, že jednotlivé předpisy z různých úrovní legislativní hierarchie na sebe vzájemně odkazují, popřípadě se doplňují.

2.1.1 ICAO Annexes

Annexy, neboli přílohy, jsou základním uceleným souborem předpisů, který mají všechny smluvní státy Úmluvy o mezinárodním civilním letectví (tzv. Chicagské úmluvy) povinnost přijmout do své legislativy. Úmluvou o mezinárodním civilním letectví byla založena organizace ICAO, které již zmíněné Annexy vydává, za účelem jejího spravování. [5] Základní řada příloh čítá celkem 19 dokumentů, které doporučují smluvním státům minimální požadavky ve všech oblastech, do kterých působnost ICAO zasahuje. Každá z těchto příloh se zabývá jednou

konkrétní oblastí. Při přebírání těchto dokumentů na národní úroveň jsou státy povinné oznámit rozdíly vůči původním dokumentům. [8]

Annex 14 je předpis zabývající se širokou škálou předmětů v oblasti letišť. Mimo jiné pokrývá oblast projektování letišť a heliportů a jejich následný provoz a údržbu. Vzhledem k velkému rozsahu tohoto dokumentu byl rozdělen do dvou svazků. Svazek I, v anglickém jazyce Volume I, se zaměřuje na letiště a v současné době obsahuje přes 300 stran. Druhý svazek se zaměřuje na problematiku heliportů. [9]

Pro vytváření této práce byl využito české pojetí Annexu 14, Volume I., tedy Letecký předpis L14 – Letiště. Ten se zaměřuje na požadované fyzické vlastnosti letišť a na překážkové plochy na letištích. Dále popisuje technické služby, které jsou obvykle na letištích zajišťované, včetně jejich vybavení. Důležité je, že předpis obsahuje minimální provozní parametry letišť, které odpovídají vlastnostem letadel používaných v současné době. Zároveň se tyto požadavky vztahují i na ta letadla, u nichž se teprve plánuje jejich uvedení do provozu. [6]

Z tohoto předpisu byly použity následující údaje:

- Šířka postranních pásů dráhy
- Šířka pásů dráhy
- Šířka pásů pojezdové dráhy
- Vzdálenost vyčkávacího místa dráhy od osy dráhy
- Vzájemná vzdálenost os dvou pojezdových drah
- Vzdálenost osy dráhy od osy pojezdové dráhy [6]

2.1.2 ICAO doc. 9157 Aerodrome design manual

Tento dokument se zabývá návrhy leteckých staveb a skládá se z 6 částí. Každá část tohoto předpisu je vydána jako samostatná publikace. První část předpisu se zabývá drahami, druhá pojezdovými drahami, odbavovacími plochami a vyčkávacími místy. Ve třetí části jsou obsaženy předpisy týkající se vozovek. Následuje čtvrtá část zabývající se vizuálními pomůckami. Poslední dvě části se týkají elektrických systémů a křehkosti. [10]

Pro účely řešení zadané problematiky jsou zapotřebí 3 části. Z první části předpisu byla využita zejména hodnota šířky dráhy určené pro vzlety a přistání letadel. [11] Další částí, ze které byly čerpány informace, je část druhá. Z tohoto oddílu dokumentu byly získány minimální šířky pojezdových drah. [12] Poslední podstatnou částí pro řešení této problematiky je část čtvrtá. Ve té byly nalezeny informace týkající se požadavků na některé z vybraných systémů pro detekci letadel. [13]

2.2 Popis stávajícího stavu

V současné letištní praxi není problém určení přesné pozice letadla na vyčkávacím místě dráhy řešen. Je možné dohledat pouze odborné studie, které se zabývají způsoby detekce objektů v okolí letadla instalací detekčních zařízení přímo na jeho konstrukci. Některá letadla jsou také vybavena kamerovým systémem, který slouží jako pomoc pilotům při manévrování na pohybových plochách letišť. Nicméně v některých případech je zpracování těchto systémů nedokonalé a zobrazované pole nezahrnuje konce křídel. Do celého procesu pohybů letadel po provozních plochách na letištích mají oprávnění vstupovat pouze řídící letového provozu na daném letišti a posádka konkrétního letadla. V konečném důsledku ovšem vždy záleží pouze na odhadu a zkušenostech kapitána, který vyhodnocuje, zda je možné průjezd uskutečnit či nikoliv, a to z toho důvodu, že pouze kapitán je za letadlo v danou chvíli zodpovědný.

2.3 Požadavky na detekci

V této části práce jsou popsány základní požadavky, které by měl vhodný způsob detekce splňovat pro určení přesné pozice letadla na vyčkávacím místě dráhy. Tyto požadavky jsou definované pro účely této práce, nikoliv některým z letišť, organizací řízení letového provozu nebo mezinárodní organizací.

2.3.1 Přesnost určení polohy

Základním požadavkem při hodnocení vhodnosti systémů pro detekci pozice letadel na vyčkávacím místě dráhy je přesnost určení polohy. U hledaného systému jsou kladeny vysoké nároky na přesnost určení polohy letadla na vyčkávacím místě dráhy a vyhodnocení, zda je možné uskutečnit průjezd dalších letadel po pojezdové dráze bez hrozby kolize. V případech, kdy určení polohy nebude dostatečně přesné, nebude zajištěn bezpečný průjezd pojíždějícímu letadlu a následkem toho může dojít k poškození obou letadel, ke snížení propustnosti dráhy letiště a k narůstajícímu zpoždění jednotlivých letů.

Dalším požadavkem kladeným na hledaný systém je jeho schopnost vytvářet dostatečné množství virtuálních zón, které stanovují, jaká kategorie letadla je schopna bezpečného průjezdu, a to na základě kódového označení letiště. Například v případě letiště s kódovým označením 4F systém vytvoří 4 virtuální zóny, ve kterých bude schopen detekovat narušení v závislosti na velikosti pojíždějícího letadla.

2.3.2 Vliv povětrnostních podmínek

Dalším důležitým faktorem, který ovlivňuje výběr systému, je odolnost daného řešení vůči povětrnostním vlivům. Vhodný detekční systém musí být schopný pracovat ve dne i v noci, za jakýchkoliv povětrnostních podmínek a v každém ročním období.

Je nutno také vybrat vhodné umístění detekčního systému v závislosti na principu jeho fungování. Systém nesmí tvořit překážku pro letadla a další mobilní prostředky a nesmí být ovlivňován nepříznivými sezónními překážkami, jako může být například v letních měsících vzrostlá tráva či v zimě napadáný sníh. Zařízení musí být tedy umístěno na vhodném místě, případně ve vhodné výšce, a musí být vybaveno příslušnými technologiemi, aby byla zachována jeho bezproblémová funkčnost za všech předpokládaných podmínek. Jednou z těchto technologií může být například vyhřívání části systému sloužící pro detekci.

2.3.3 Identifikace typu letadla

Doplňkovou funkcí systému může být také schopnost identifikace typu letadla. V případě propojení systému s modulárním systémem A-SMGCS je možné s využitím této funkce dodatečně kontrolovat, zda typ letadla, které zastavilo na vyčkávacím místě dráhy, odpovídá typu letadla, které bylo řídicím letového provozu na danou pozici vysláno.

3 Modelová situace

Pro účely této práce byla vytvořena modelová situace znázorňující zadaný problém. Model byl vytvořen s využitím informací a hodnot ze zdrojů uvedených v kapitole Legislativní základna. Jediná z hodnot, kterou není možné získat z přepisů přímo, je vzdálenost osy pojezdové dráhy od vyčkávacího místa dráhy. Z předpisů je možné získat minimální vzdálenost osy pojezdové dráhy od osy dráhy sloužící pro vzlety a přistání letadel a dále také minimální vzdálenost vyčkávacího místa od osy dráhy. Při odečtení těchto dvou hodnot je možné zjistit minimální vzdálenost mezi vyčkávacím místem dráhy a osou pojezdové dráhy vedoucí na práh dráhy. Většina letišť však tuto minimální hodnotu nevyužívá a snaží se minimální vzdálenost navýšit. Vyplývá to i z měření, které bylo provedeno v průběhu vypracování této práce a proběhlo na vybraných evropských letištích. Naměřené vzdálenosti jsou uvedeny v Tabulce 1 níže. Měření probíhalo s využitím internetových mapových podkladů a s tím spojených nástrojů pro měření vzdálenosti.

Celkem sada dat obsahuje 24 letišť, na kterých byly změřeny vzdálenosti os pojezdových drah od vyčkávacích míst přiléhajících k 27 drahám. Byla zvolena letiště, která mají díky své geografické poloze potenciál setkat se s řešenou problematikou v průběhu svého provozu. Ze vzdáleností získaných pro každou dráhu byla vypočítána průměrná hodnota a vzdálenost použitá v modelu byla vypočítána jako průměr těchto 27 hodnot.

Tabulka 1: Vzdálenosti vyčkávacích míst od os pojezdových drah na vybraných evropských letištích

Název letiště	ICAO kód	RWY	Vzdálenost vyčkávacího místa dráhy od osy pojezdové dráhy [m]							Průměrná vzdálenost [m]
			1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	
Nice Cote D'Azur Airport	LFMN	22 R	92	92	92	92	100	93	75	91
Geneve Airport	LSGG	05	100	105	150	103	100	90	111	108
Palma De Mallorca Airport	LEPA	24R	109	109						109
Catania Fontanarrosa Airport	LICC	08	90	72	73	85				80
Prague Airport	LKPR	06	144	314	300	170	88	99		186
Nikos Kazantzakis Airport	LGIR	09	35	37	34					35
Diagoras Airport	LGRP	07	100	84	90					91
Ibiza Airport	LEIB	06	94	94						94
Zagreb Airport	LDZA	05	119	120	119					119
Kyiv Boryspil Airport	UKBB	36L	117	84	106					102
Liverpool Airport	EGGP	09	92	74	75	90				83

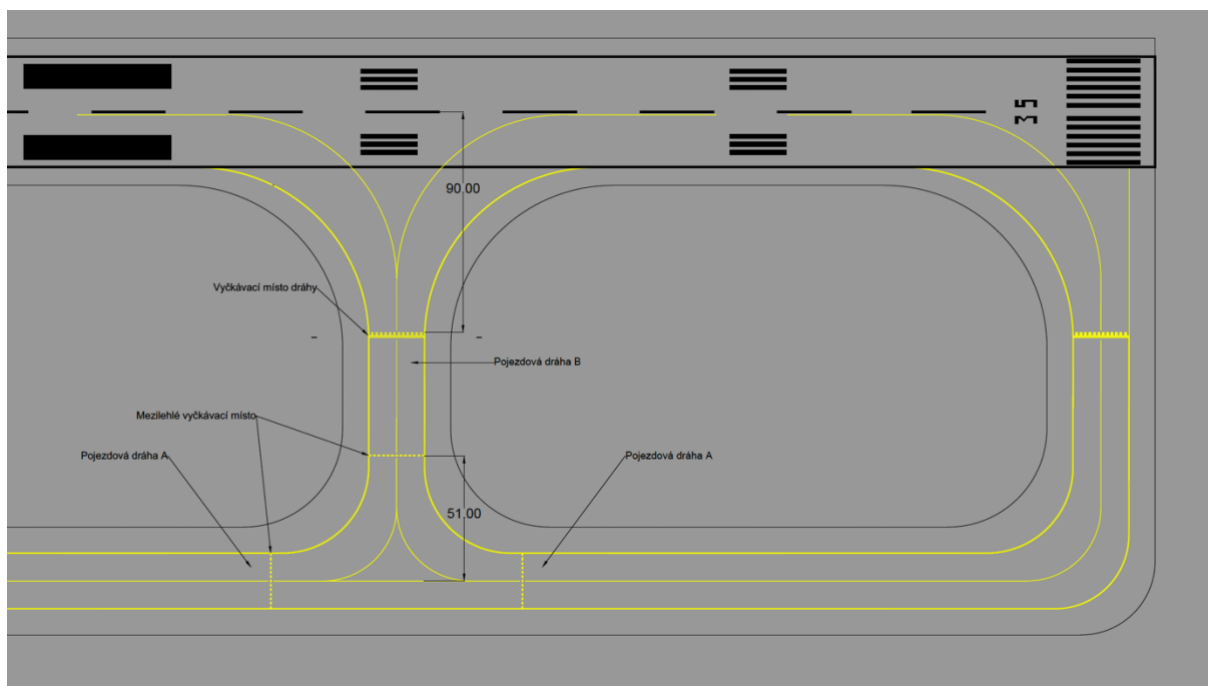
Edinburgh Airport	EGPH	24	75	77						76
Dublin Airport	EIDW	10	94	85	100	96	93	90,5		93
Stockholm Arlanda Airport	ESSA	19R	108	51						80
		01R	106	104						105
London Gatwick Airport	EGKK	08R	106	92	52	60	51	84	96	77
London Stansted Airport	EGSS	04	151							151
Naples Capodichino	LIRN	24	58	67	126	193	70			103
Roma Fiumicino Airport	LIRF	16R	141							141
		16L	129							129
Milano/Malpensa Airport	LIMC	17R	104							104
Vilnius Airport	EYVI	01	65	54						60
Lennart Meri Tallinn Airport	EETN	26	100	90	101	100				98
Frankfurt-Hahn Airport	EDFH	03		92						92
Berlin Tegel Airport	EDDT	08R	85	86	94	93				90
Kobenhavn/Kastrup Airport	EKCH	04R	101	128						115
		22R	107	82	82	82	80	29	29	70
Celkový průměr										100

Tabulka 1 obsahuje podrobnosti získané v průběhu měření. V prvním sloupci, nazvaném Lokace letiště je uvedeno město, poblíž kterého se dané letiště nachází. V druhém sloupci je uveden ICAO kód letiště. Sloupec RWY označuje práh dráhy, od kterého bylo prováděno měření. Následujících sedm sloupců obsahuje naměřené vzdálenosti vyčkávacích míst dráhy od osy pojezdové dráhy. Sloupce jsou označeny čísly od jedné do sedmi, kdy jednotlivá čísla označují pořadí křižovatky od uvedeného prahu dráhy (např. ve sloupci označeném 1. jsou uvedeny naměřené vzdálenosti z první křižovatky od prahu dráhy). V posledním sloupci je v každém řádku uvedena průměrná vzdálenost vyčkávacích míst dráhy od osy TWY přiléhající k dané dráze. V posledním řádku tabulky je vypočítán průměr těchto průměrných vzdáleností jednotlivých drah na letištích. S touto hodnotou se dále pracuje níže.

3.1 Popis modelu

Samotný model byl vytvořen k programu Autodesk AutoCAD a následné pohyby letadel byly vytvořeny programem AviPLAN společnosti Transoft Solutions. Vytvořený model zobrazuje část letiště s kódovým označením 4F. Jsou zde vyobrazeny dvě pojezdové dráhy označené jako A a B, které jsou na sebe kolmé a dráha určená pro vzlety a přistání letadel. Zmíněné pojezdové dráhy přímo přiléhají k dráze a slouží zejména pro letadla pojíždějící na start,

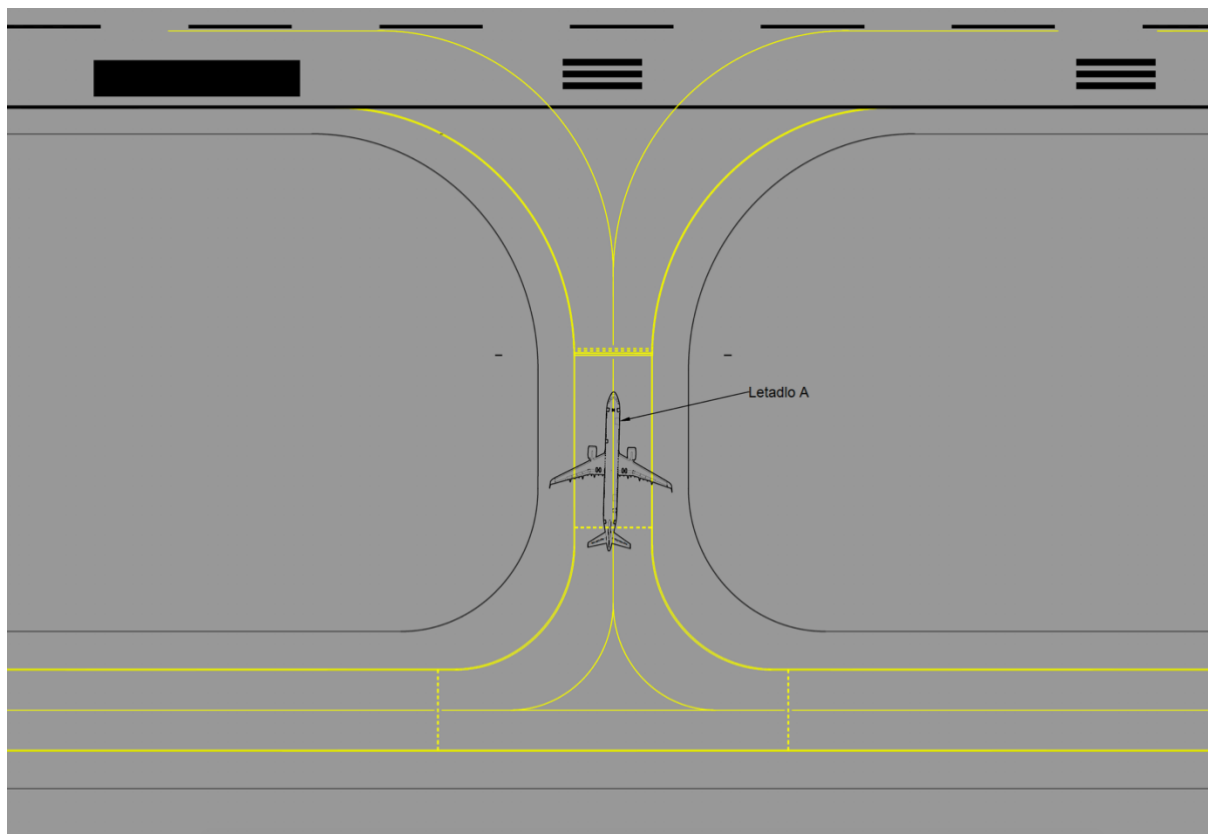
popřípadě pro vyklizení letadla po přistání. Pojezdová dráha označená jako A vede přímo na práh dráhy. Pojezdová dráha B se na dráhu napojuje ve vzdálenosti 300 metrů od vyobrazeného prahu dráhy a umožňuje tak vzlety z křižovatky. Šířka pojezdových drah byla stanovena, s ohledem na kategorii letiště, na 23 metrů. Ke každé pojezdové dráze na základě předpisu přiléhají také postranní pásy pojezdových drah. Celková šířka pojezdových drah i s přiléhajícími pásy je 44 metrů. Šířka dráhy byla stanovena na základě dokumentu Aerodrome Design Manual agentury ICAO na 45 metrů. [11] Včetně pásu dráhy se jedná o šířku 60 metrů. Vyčkávací místa dráhy, která jsou vybavena stop příčkami, jsou umístěna ve vzdálenosti 90 metrů od osy dráhy. Vzdálenost vyčkávacího místa dráhy v místě křižovatky od osy pojezdové dráhy je 100 metrů, jak bylo zjištěno na základě provedeného měření. Navržená část letiště je vyobrazena na Obrázku 2 s označením pojezdových drah, vyčkávacího místa dráhy a mezilehlých vyčkávacích míst. Na Obrázku 2 jsou také zakótované vzdálenosti od osy vyčkávacího místa dráhy k ose dráhy a od osy pojezdové dráhy k mezilehlému vyčkávacímu místu.



Obrázek 2: Část letiště kategorie 4F navržená pro modelovou situaci

Na vyčkávací místo dráhy umožňující vzlet z křižovatky bylo umístěno letadlo kategorie C (viz Obrázek 3). Pro potřeby modelové situace byl zvolen Airbus A321 NEO (na následujících obrázcích označován jako Letadlo A). Tento zástupce ICAO kategorie C byl zvolen s přihlédnutím k jeho délce 44,51 metrů, která je jednou z největších v dané kategorii. Zároveň lze v současné době pozorovat poptávku leteckých dopravců po letadlech s úzkým trupem a velkou přepravní kapacitou. Airbus A321 NEO tento požadavek splňuje a je využíván velkým množstvím leteckých dopravců po celém světě. Zároveň je možné s tímto letadlem provést

vzlet z křižovatky. Tento typ letadla byl zasazen do návrhu letiště na obrázku 3. Kategorie jednotlivých letadel jsou klasifikovány dle předpisu L14 na základě rozpětí křídel a vnějšího rozpětí kol hlavního podvozku, a to za účelem propojení letišť a letadel, která jsou tato letiště schopna odbavit. [6] Rozměry veškerých letadel použitých v této části práce byly změřeny v programu AviPLAN.



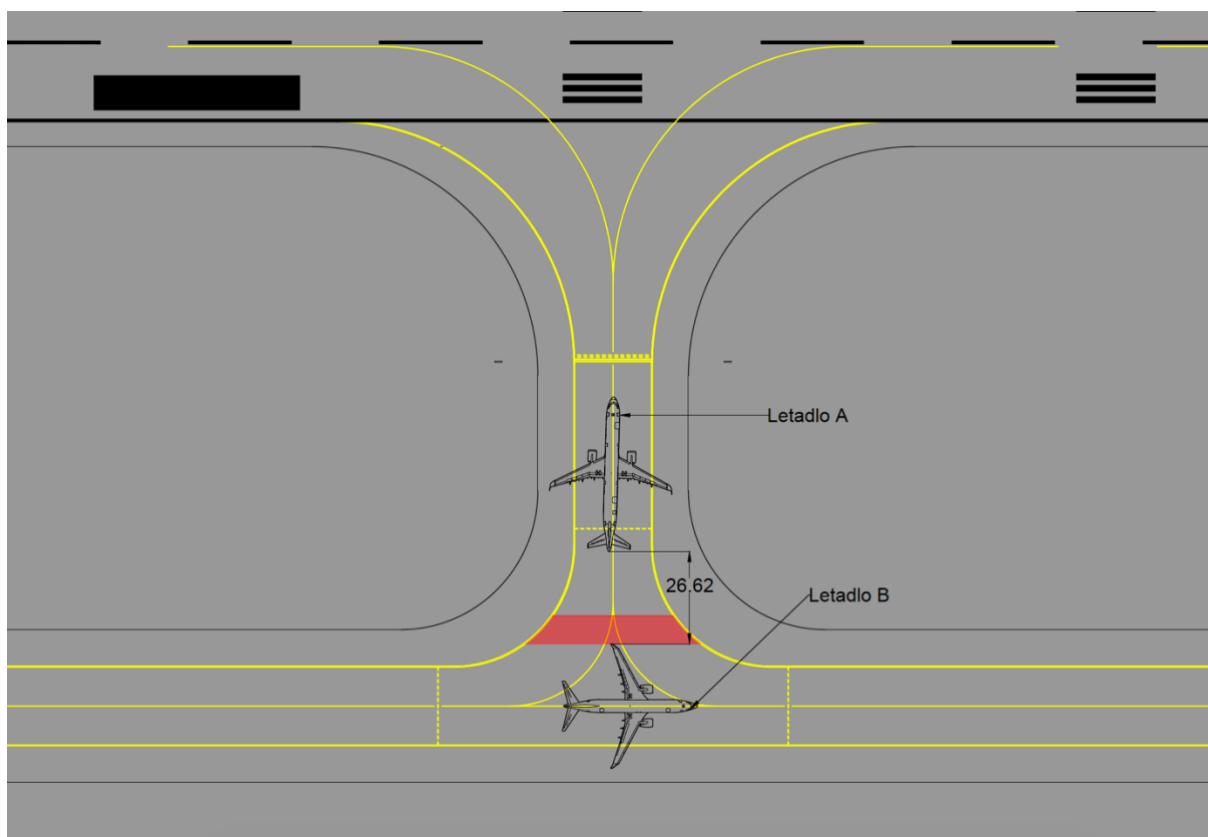
Obrázek 3: Pozice Airbusu A321 NEO při zastavení na vyčkávacím místě dráhy

První problém vyvstává po zastavení příďovým kolem letadla v minimální vzdálenosti od vyčkávacího místa dráhy, ze které je posádce umožněn vizuální kontakt s jeho značením. Tento parametr určuje výrobce. Pro případ Airbusu A321 NEO je tato vzdálenost určena na 15,21 metrů. Při zastavení v tomto místě není podélná osa vyčkávajícího letadla rovnoběžná s osou pojezdové dráhy B. Z toho vyplývá, že vzdálenost 84,79 metrů není dostatečná pro optimální zastavení letadla této velikosti na vyčkávacím místě dráhy. Druhý, podstatnější problém je, že ocasní část letadla přesahuje o 6,4 metrů přes značení mezilehlého vyčkávacího místa na křižovatce.

Následně byly po pojezdové dráze A provedeny průjezdy 4 rozdílných kategorií letadel. Šlo o kategorie C, D, E a F. Každý z těchto průjezdů je samostatně popsán v následujících podkapitolách.

3.1.1 Průjezd letadla kategorie C

Na obrázku 4 je vyobrazena situace, ve které po jezdové dráze A projíždí na práh dráhy letadlo ICAO kategorie C. Konkrétně se jedná o Boeing 737 MAX 8 s rozpětím křídel 35,92 metrů (Letadlo B). Červený obdélník u jeho levého křídla znázorňuje minimální vzdálenost mezi koncem křídla a dalším objektem, která musí být dodržena při pohybu letadla po jezdové dráze pro zajištění jeho bezpečného průjezdu. Tato minimální vzdálenost je pro letadla kategorie C stanovena předpisem na 8 metrů od překážky.



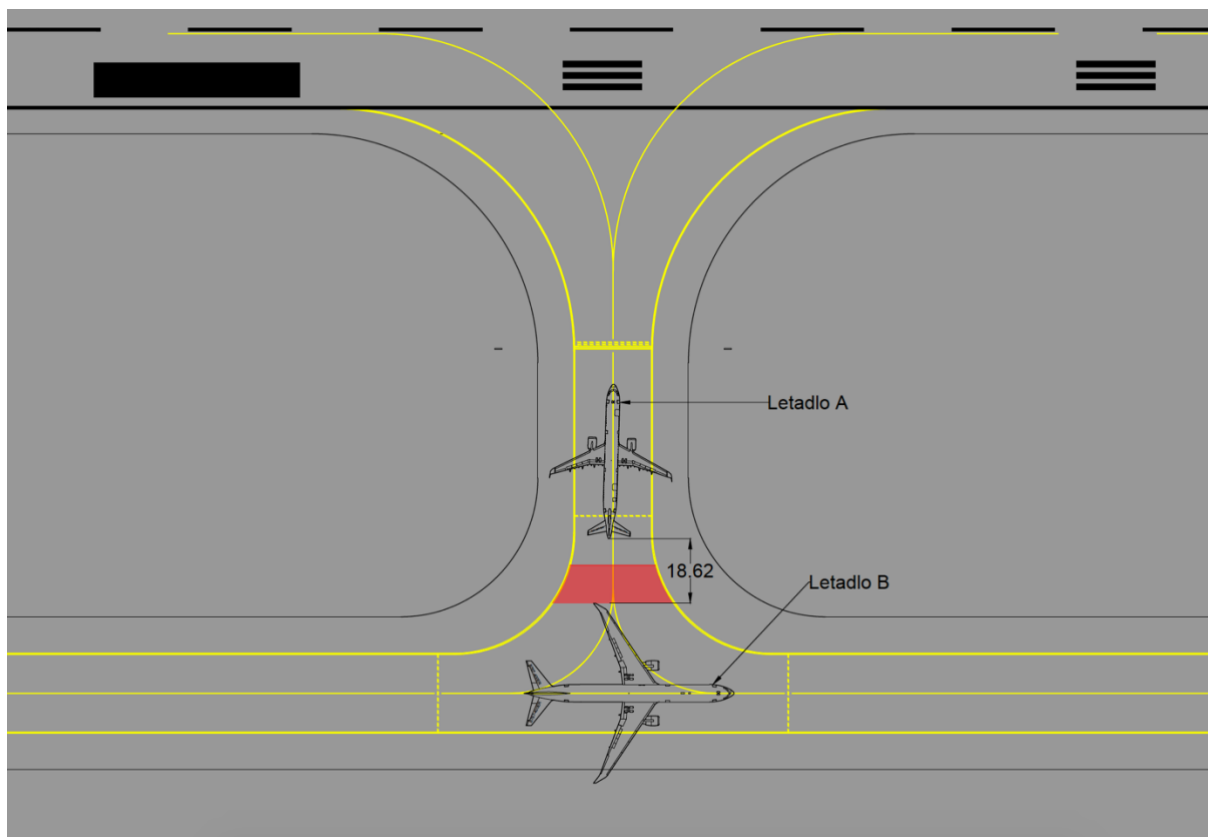
Obrázek 4: Průjezd letadla kategorie C (Boeing 737 MAX 8)

Mezi koncem ocasní části vyčkávacího letadla a koncem křídla projíždějícího letadla je volná vzdálenost přesahující 26 metrů. Z toho je patrné, že riziko jejich střetu je zanedbatelné, a to i v případě, kdy vyčkávací Airbus A321 NEO nezastaví v minimální vzdálenosti zajišťující viditelnost značení. Tím je zajištěn bezpečný průjezd všech letadel ICAO kategorie C, i pokud se letadlo nebude pohybovat předovým podvozkem přesně po ose jezdové dráhy A.

3.1.2 Průjezd letadla kategorie D

Kategorie D je zastoupena Boeingem 767-400ER (Letadlo B), neboť je se svým rozpětím 51,9 metrů jedním z největších v této kategorii letadel. Jak je možno vidět na obrázku 5, při průjezdu okolo vyčkávacího Airbusu A321 NEO je stále dodržena minimální bezpečná

vzdálenost znázorněná červeným obdélníkem. Oproti přechozí situaci, ve které je popsán průjezd Airbusu A321 NEO, došlo k nárůstu minimální bezpečné vzdálenosti na 11 metrů.



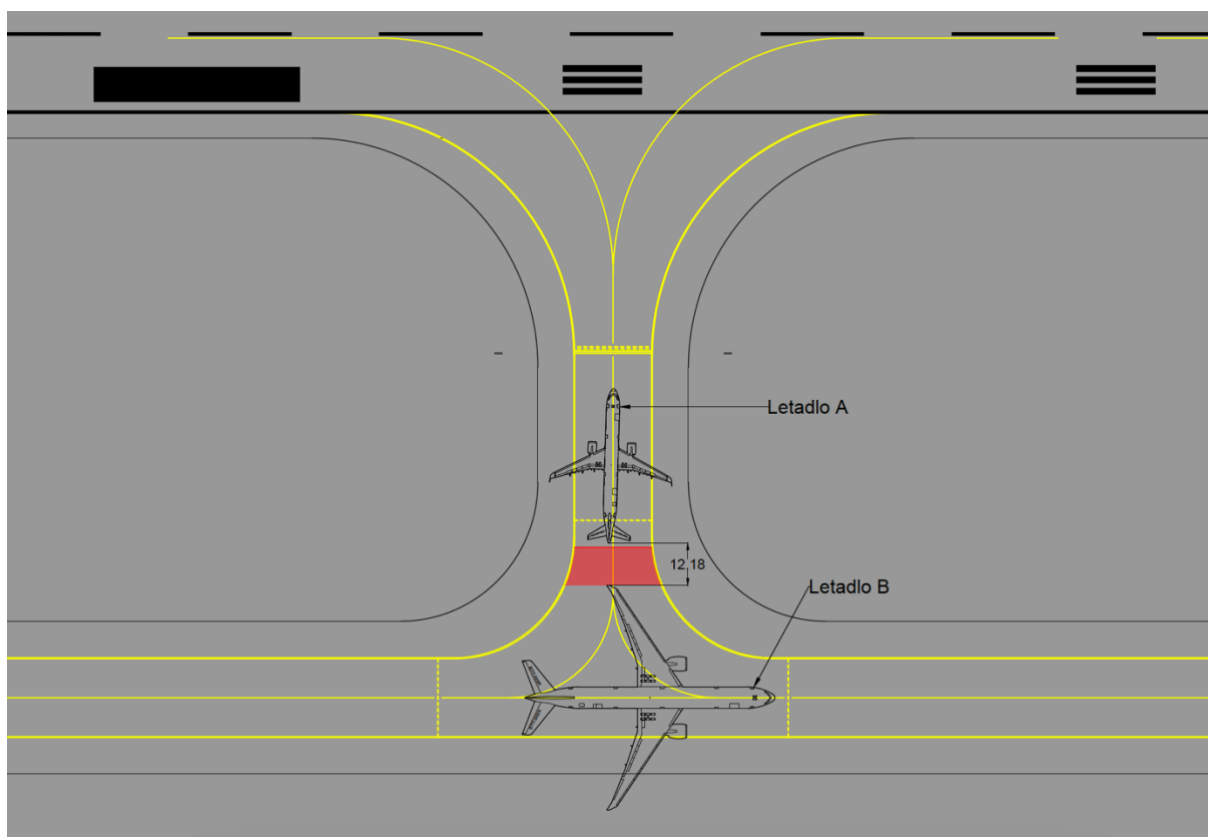
Obrázek 5: Průjezd letadla kategorie D (Boeing 767-400ER)

Ač se jedná o průjezd letadla větších rozměrů a s větším rozpětím křídel, a mimo jiné došlo k nárůstu bezpečné vzdálenosti od objektu o 3 metry, nehrozí konflikt mezi těmito dvěma letadly. Je mezi nimi stále dostatečný prostor překračující 7 metrů od ocasní části letadla A k začátku minimální bezpečné vzdálenosti od křídla letadla B. To odpovídá vzdálenosti okolo 18,5 metrů mezi zadní částí letadla A a koncem křídla letadla B. Díky tomu je zaručen bezkonfliktní průjezd i v případě zastavení vyčkávajícího letadla ve větší, než je minimální vzdálenost pro vizuální kontakt pilota se značením vyčkávacího místa, a ačkoliv se Boeing 767 jedoucí na práh dráhy nebude vždy pohybovat předřovným kolem po ose pojezdové dráhy.

3.1.3 Průjezd letadla kategorie E

Pro kategorii E bylo pro účely této práce zvoleno letadlo Boeing 777-300ER (Letadlo B), jehož rozpětí křídel je 64,8 metrů. Na obrázku 6 lze pozorovat situaci, kdy je při průjezdu okolo vyčkávajícího Airbusu A321 NEO stále dodržena minimální bezpečná vzdálenost, která je zde opět znázorněna červeným obdélníkem, jenž má šířku 11 metrů. Došlo ale k výraznému zmenšení vzdálenosti mezi hranicí minimální bezpečné vzdálenosti a ocasem vyčkávajícího

letadla A, která nyní činí přibližně 1 metr, v porovnání s 18 metry v kategorii C a 7 metry v kategorii D. Vzdálenost mezi koncem křídla letadla B a ocasní částí letadla, která je označena kótou v obrázku 6 odpovídá 12 metrům.



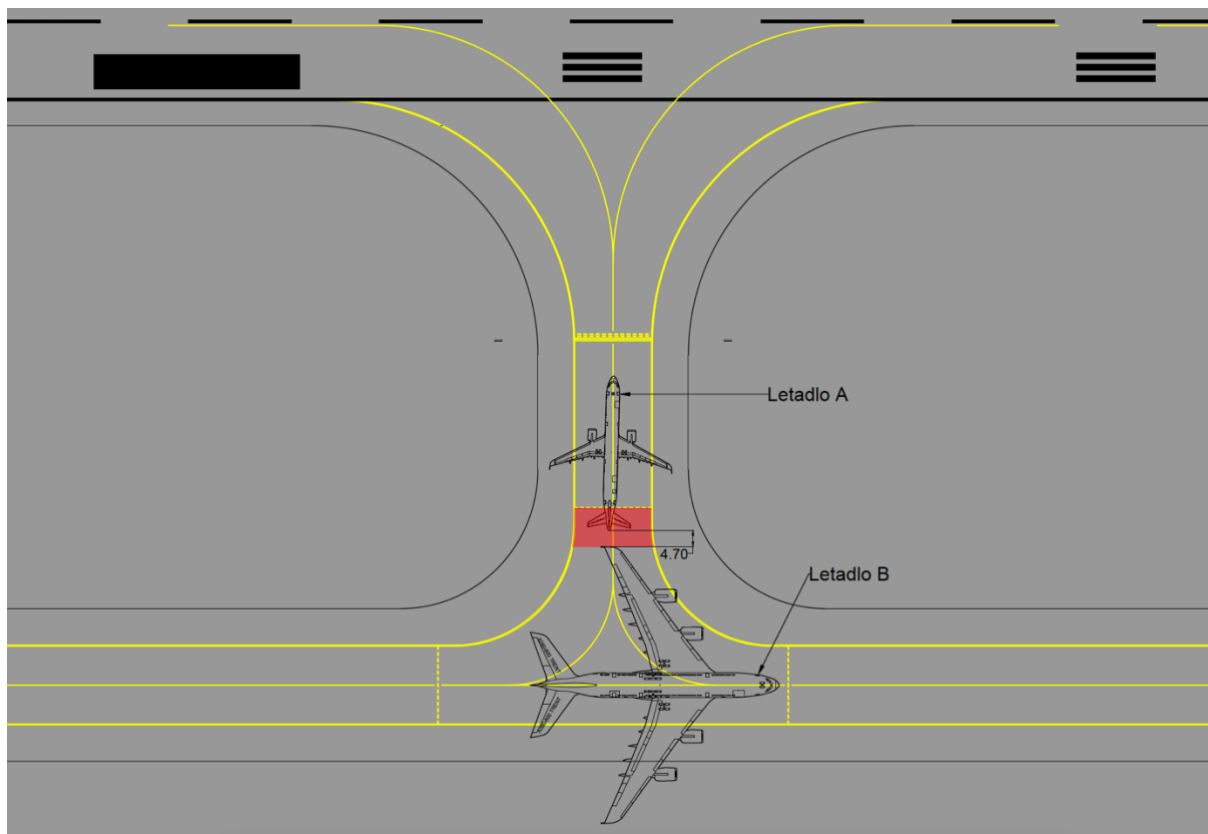
Obrázek 6: Průjezd letadla kategorie E (Boeing 777-300ER)

Pro bezpečný průjezd je nutné, aby letadlo pojíždějící na práh dráhy přesně dodržovalo předovým podvozkem osu pojezdové dráhy A. Zároveň je třeba, aby vyčkávající Airbus A321 NEO zastavil v takové minimální vzdálenosti, která umožňuje vizuální kontakt se značením vyčkávajícího místa. Pravděpodobnost, že v běžném letištním provozu budou tyto dvě podmínky uspokojivě splněny, je poměrně malá. Je zde tedy přítomna určitá pravděpodobnost, že dojde k narušení minimální bezpečné vzdálenosti konce křídla od překážky. Za podmínky, že dojde k narušení této minimální vzdálenosti, nebude pojíždějícímu letadlu umožněn průjezd.

3.1.4 Průjezd letadla kategorie F

Kategorie F má svého jediného zástupce v oblasti civilních dopravních letadel, kterým je Airbus A380. V této konkrétní situaci se jedná o model A380-800 s rozpětím křídel 80 metrů (Letadlo B). Jak již bylo zmíněno výše, pro modelovou situaci bylo vybráno letiště kategorie 4F, na němž je na základě předpisu L14 vzdálenost mezilehlého vyčkávacího místa a osy

pojezdové dráhy 51 metrů. [6] Tato vzdálenost byla zvolena tak, aby byla minimálním průjezdným průřezem pro průjezd právě Airbusu A380, a to včetně minimální bezpečné vzdálenosti od konce křídel, která činí 11 metrů stejně jako u předchozích kategorií letadel. Na obrázku 7 je možno vidět situaci, ve které dochází k narušení prostoru pro bezpečný průjezd letadla.



Obrázek 7: Průjezd letadla kategorie F (Airbus A380-800)

Ocasní část vyčkávajícího Airbusu 321 NEO překračuje o 6,2 metru mezilehlé vyčkávací místo, a tím zároveň i bezpečnou vzdálenost, která má garantovat bezproblémový průjezd všech letadel kategorie F. Celková vzdálenost konce křídla Airbusu A380 od ocasní části Airbusu A321 v takovém případě činí 4,7 metru. Tyto údaje nelze považovat za dostatečné z hlediska bezpečnosti a pojíždějícímu letadlu by neměl být umožněn vjezd do prostoru křížení pojezdových drah A a B.

4 Technické možnosti řešení

V této kapitole jsou popsány systémy, které by v závislosti na principu svého fungování mohly být použity pro řešení zadané problematiky. Jedná se o systémy schopné detekce cílů. V současné době lze na letištích nalézt systémy využívající stejný princip fungování jako některé ze systémů popsaných v následujících podkapitolách, které však slouží jiným účelům. Ke každému zmíněnému systému je vysvětlen princip detekce a následně je uvedeno, kde se v současné době tohoto principu využívá. V souvislosti s popisem fungování každého ze systémů je zapotřebí také uvést způsob, jakým by se systém detekce umístil v případě použití v této problematice. Vzhledem k faktu, že určení přesné polohy letadla na vyčkávacím místě dráhy je stěžejním parametrem, je mu u každého systému věnovány samostatná podkapitola.

4.1 Laserové skenování

Popis fungování systému

LIDAR, neboli Light Detection and Ranging, je metoda měření vzdálenosti využívající k měření laserový paprsek. Zařízení se skládá z laserového dálkoměru a snímacího mechanismu. Tato kombinace umožňuje přesné měření vzdálenosti k cíli. Skenovací mechanismus pracuje na principu rotace jednoho či dvou zrcadel uvnitř zařízení, popřípadě může rotovat i celé zařízení. Mezi další součásti, které technologie obsahuje, patří elektronická jednotka, software řízení celého systému či zařízení pro zachycení obrazu, například digitální kamera. Tento systém je schopen vytvořit 3D obraz snímaného objektu. Je také schopný rozpoznávání a identifikace objektů ve skenovaném prostoru. Je to možné v případě, že je připojený k databázi obsahující 3D obrazy těchto objektů. [14]

Podle způsobu měření vzdálenosti lze rozlišovat mezi třemi hlavními typy LIDARu. Prvním způsobem měření je měření času letu laserového pulzu. Druhým způsobem, který LIDAR využívá, je posun fází mezi vysílanými a přijímanými signály. Třetí metodou je triangulace. LIDAR využívá kameru, pomocí které určí místo dopadu laserového paprsku na skenovaném povrchu. [14]

Současné použití

Nejčastějším využitím LIDARu v prostředí letiště jsou systémy A-VDGS, které slouží k navádění letadla při zajištění na stání. Jedná se o systém schopný 3D skenování prostředí. Jeho hlavním úkolem je navádění pilotů při přesném umístění letadla na stojánku. Mezi další funkce patří schopnost identifikace cizích objektů v prostoru stání, což chrání letadlo před poškozením cizími objekty. Další doplňkovou funkcí, kterou tento systém disponuje,

je možnost ověření, zda blížící se letadlo odpovídá typem typu letadla, pro který je dané stání určeno. Toho je docíleno díky využití 3D modelu skenované oblasti, kterou LIDAR při skenování vytváří. Systém A-VDGS je možné integrovat s dalšími systémy, jako například A-SMGCS, pro podporu jeho doplňkových funkcí. [15] [16]

Způsob umístění

Pro tento způsob detekce je potřeba umístit snímací zařízení nad zemský povrch. Nejvhodnější umístění je do volného prostoru v dostatečné vzdálenosti od kraje pojezdové dráhy, aby zařízení nepůsobilo jako překážka pro projíždějící letadla. Tato vzdálenost je uvedena v předpisu L14. [6] Je v něm stanovena nejmenší vzdálenost od pojezdové dráhy, ale také vzdálenost od konce křídla letadla kategorie odpovídající kategorii letiště. Stanovení výšky, do které se zařízení umístí, je závislé na lokalitě, ve které se letiště nachází. Je nutné brát v úvahu faktory jako je například výška spadu sněhu nebo znemožnění získávání relevantních informací následkem vysoké trávy. V závislosti na dané situaci se může stát, že zařízení bude umístěno v pásu dráhy. V důsledku toho je nutné dbát na splnění požadovaných kritérií na křehkost konstrukce. Pro zajištění fungování v průběhu celého roku je vhodné zajistit vyhřívání detekční části zařízení, a to zejména v oblastech, kde v průběhu roku dochází k poklesu teplot pod bod mrazu.

Systém je nekooperativní. Z toho vyplývá, že není potřeba žádné další vybavení, které by cíl musel mít, aby bylo možné ho detekovat.

Přesnost

Metoda měření s využitím časového zpoždění paprsku umožňuje přesnost v řádech centimetrů na vzdálenost několika kilometrů. V případě LIDARu s technologií měření fázového posunu se přesnost měření pohybuje v řádu milimetrů. Toto zařízení je schopné měřit s uvedenou přesností do vzdálenosti sto metrů. Poslední z uvedených metod měření, triangulace, je schopna dosahovat vysoké přesnosti, kolem 0,1 milimetru, ale pouze na velmi krátkou vzdálenost (do 5 metrů). [14]

4.2 RADAR

Radio Detection and Ranging, zkráceně Radar je zařízení, které je schopné vyhledávat cíle, určovat jejich polohu a popřípadě i rychlost jejich pohybu. Zařízení je vybaveno vysílačem, vysílací a přijímací anténou (mohou být spojeny do jednoho zařízení), a procesorem. [16]

Toto zařízení funguje na principu vyzařování elektromagnetické energie v podobě rádiových vln, které jsou generované vysílačem. V závislosti na typu radaru se v letectví používají radary

s frekvenčním rozsahem obvykle 600 MHz až 110 GHz. Vysílací anténou jsou vysílány vytvořené vlny ve svazcích. Šířka těchto svazků má vliv na dosah radaru. Následně přijímací anténa radaru přijímá od objektů odražené elektromagnetické vlny. Procesorem jsou tvary těchto vln vyhodnoceny a získané informace jsou zobrazeny v čitelné podobě na zobrazovacím zařízení. [16]

Radar provádí měření času mezi vysláním signálu a jeho opětovným příjmem po odražení od objektu. Z této časové informace spolu se znalostí rychlosti šíření signálu prostředím je možná identifikace vzdálenosti cíle. Poloha detekovaného cíle je v případě 2D zobrazení délka spojnice mezi radarem a cílem. V případě 3D zobrazení je přidán ještě výškový úhel. [16] [17]

Radary můžeme dělit na impulzní a na ty se stálou vlnou. Toto rozdělení je založené na formě, kterou je vyzařovaná energie vysílána. Radary se spojitým vysláním signálu mohou vysílat frekvenčně modulovaný či nemodulovaný signál. [16]

4.2.1 Milimetrový radar

Popis fungování systému

Jedním typem, vhodným pro detekci objektů na krátké vzdálenosti (do 1 kilometru), je primární radar využívající milimetrové vlny, v angličtině nazývaný millimeter wave radar. Konkrétně se jedná o pásmo extrémně krátkých vln o frekvencích mezi 30 a 300 GHz. [20] Jejich vlnová délka se pohybuje od 1 do 10 milimetrů. Většina senzorů využívá frekvenčních pásem od 60 GHz do 110 GHz. Využívání těchto frekvencí umožňuje použití vysílačů malých rozměrů. Většina zařízení pracujících na principu milimetrových vln využívá pro své fungování vysílání spojitého frekvenčně modulovaného signálu. Paprsek vysílaný tímto typem radaru je velmi směrový a systém jako takový je schopen trojrozměrného skenování. Radar je schopen vytváření 3D modelů skenovaného prostředí. Zařízení se skládá z určitého počtu vysílacích a přijímacích antén. Pro skenování azimutální oblasti vyšle signál z libovolné vysílací antény a signál odražený od cíle je přijímán na všechny antény přijímací. Při následném elevačním skenování jsou vysílány signály ze všech antén, ale s předem daným časovým zpožděním, za účelem identifikace vysílací antény. Příjem odraženého signálu probíhá na libovolně vybrané přijímací anténě. [18] [19] [21]

Současné použití

Hlavní využití senzorů využívajících milimetrové vlny je možné nalézt uvnitř letištního terminálu, konkrétně na stanovišti bezpečnostních kontrol, kde slouží jako zařízení celotělového skenování. Dále je možné využití technologie milimetrových vln pro detekci letadel a jiných mobilních prostředků na pohybových plochách letišť v rámci systému SMR,

který je podrobněji popsán v kapitole 4.2.2. V oblasti letectví se také využívají v systémech varování před překážkami pro vrtulníky a bezpilotní prostředky, či jako antikolizní systém letadel. V minulosti probíhal projekt zaměřený na využití tohoto druhu radaru pro potřeby letecké záchranné služby, konkrétně pro určování výšky nad zemským povrchem při přistání vrtulníku v náročných podmínkách (mlha, zvířený prach). [19] [22]

V současné době se tato technologie využívá také v automobilovém průmyslu, zejména jako senzory varující řidiče před kolizí a s tím spojené systémy nouzového brzdění, adaptivní tempomat, popřípadě funkce autonomního řízení. [21]

Způsob umístění

Vzhledem k principu fungování je potřeba umístit zařízení do oblasti nad povrch země. Podobně, jako je tomu u systému LIDAR, je nutné umístění do volného prostoru vedle pojezdové dráhy takovým způsobem, při kterém nebude působit jako překážka pro projíždějící letadla. Vhodné je také umístění do dostatečné vzdálenosti od osy dráhy, aby nebyl narušen pás dráhy. Například pro letiště s kódovým číslem 3 a 4 jde o vzdálenost 140 metrů. [6] Pokud to není možné, lze systém vzhledem k jeho malým rozměrům umístit do prostoru pásu dráhy. Je ale nutné dodržet požadavky na křehkost konstrukce. Výška, ve které bude anténní systém umístěn, je závislá na lokalitě, ve které se letiště nachází. Je zapotřebí zajistit jeho ochranu před přírodními vlivy. Například v zimních měsících může jít o vysokou vrstvu sněhu.

Pro detekci není požadována žádná součinnost cíle, proto se jedná o nespolupracující technologii detekování cíle.

Přesnost

Rozsah snímání tohoto systému se pohybuje v rozmezí 1 až 120 metrů. Přesnost určení polohy detekovaného cíle je do vzdálenosti 120 metrů od vysílací a přijímací antény v řádu desítek milimetrů. V případě umístění antén na otočnou základu je radar schopný snímání v rozsahu 360° v horizontální oblasti. Pokud je zařízení umístěno na statickém podstavci, rozsah horizontálního snímání, kterého je možné dosáhnout, je 90°. [23] Úhel, pod kterým snímá zařízení vertikálně, je 6°. Šířka vysílaného paprsku se pohybuje v rozmezí dvou až tří úhlových stupňů. [18] [24]

4.2.2 Pojezdový radar

Popis fungování systému

Označení pojezdový radar vychází z anglického termínu Surface Movement Radar (SMR) a jedná se o druh primárního radaru s impulzním vysíláním signálu. Obecně pracuje ve

frekvenčním pásmu super krátkých vln, které má rozsah 3 až 30 GHz. Obvykle SMR využívá dvě odlišná pásma v tomto rozsahu. Pásmo X-band o frekvenci 9 GHz nebo frekvenční rozsah 15-17 GHz v pásmu K_U-band. Systém vysílá krátké impulzy s délkou obvykle 40 nanosekund, zajišťující vysokou obnovovací frekvenci. Celý systém je vybaven otáčející se anténou. Rychlost její rotace je obvykle 60 otáček za minutu a šířka paprsku je přibližně v mezi 0,25° a 0,5°. [16] [25] [26]

Pokud je potřeba dosáhnout většího rozlišení, je možné využít frekvence z pásma milimetrových vln. Pro využití v pojezdovém radaru se využívají frekvence mezi 92 GHz a 96 GHz. [25] Zástupce této kategorie je například milimetrový radar DSMR-800 vyrobený firmou Advanced Aviation Technology Ltd. [27]

Současné použití

SMR je zařízení sloužící k detekci letadel a všech ostatních mobilních prostředků, které se nacházejí na pohybových plochách letiště. Takto získaný přehled je zobrazován řídicím letového provozu na věži a pomáhá zvyšovat přehlednost situace na provozních plochách, a to v noci při provozu letiště za nízké viditelnosti. [28]

Způsob umístění

Nejvhodnějším místem pro umístění pojezdového radaru je nejvyšší místo na letišti, kterým obvykle bývá střecha řídicí věže. Toto místo je voleno s ohledem na co nejlepší pokrytí ploch letiště signálem radaru. Druhým způsobem umístění je rozmístění většího množství menších radarů po letištní ploše pro pokrytí celého jejího rozsahu. Tato metoda může sloužit k hlídání kritických lokalit, což může být například křížení pojezdových drah v blízkosti vyčkávacího místa dráhy, pro tyto konkrétní účely se ovšem používá přehledového radaru s využitím milimetrových vln. [29]

Přesnost

Obecně je požadavek na přesnost měření polohy tohoto systému 5 metrů. [26]

4.3 Multilaterační systémy

Popis fungování systému

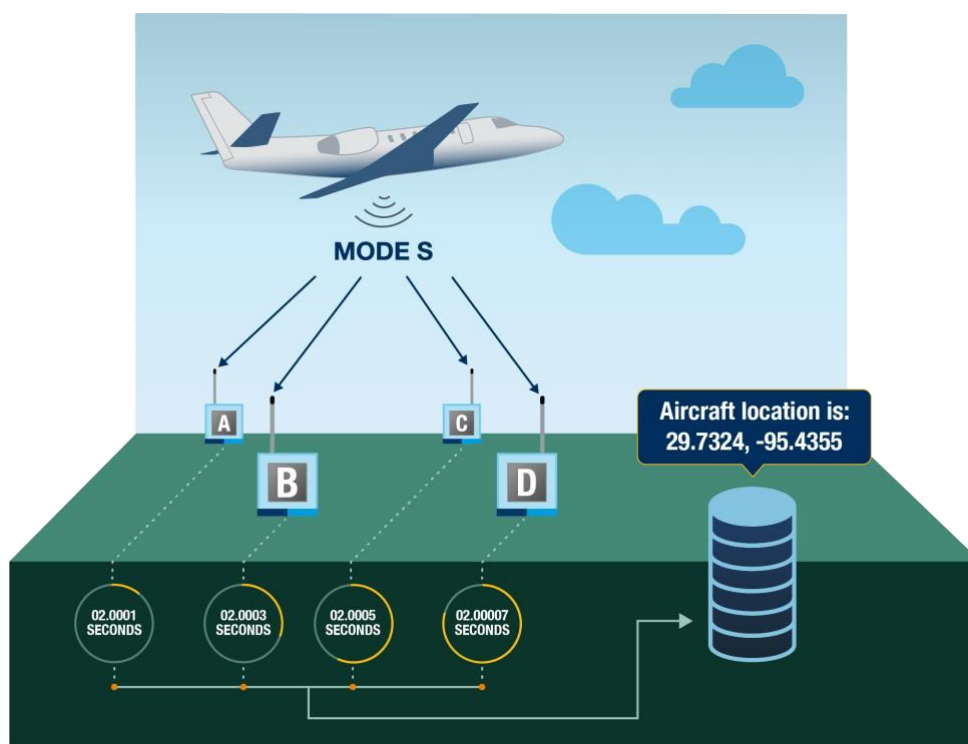
Multilaterace, zkráceně MLAT, je hyperbolická metoda určení polohy. [30]

Multilaterační systémy mohou fungovat dvěma odlišnými způsoby. Prvním z nich je měření času příchodu signálu na palubě pohybujícího se objektu. Tento signál je vysílán z většího počtu vysílačů se známou polohou. Druhým způsobem určení polohy je situace, ve které

pohybující se zařízení vysílá signál, který je následně zachycován několika pozemními stanicemi. Na základě rozdílu času příchodu signálu na jednotlivé stanice se vypočítává pozice pohybujícího se objektu. [30]

V letectví se využívá druhý z uvedených způsobů a slouží k určení polohy pozemních mobilních prostředků a letadel za letu i na pohybových plochách letiště. [31]

Technologie funguje na principu přesného měření časového rozdílu příchodu signálu od objektů na určitý počet časově synchronizovaných pozemních stanic systému. Metoda měření časového rozdílu se nazývá v anglickém jazyce TDOA – time difference of arrival. Počet potřebných stanic se liší v závislosti na požadovaném způsobu zobrazení získané informace. V případě zobrazení trojrozměrné polohy jsou požadované alespoň 4 pozemní stanice systému MLAT. Pro získání 2D polohy jsou zapotřebí minimálně 3 pozemní stanice. Tyto stanice jsou propojené datovými spoji s procesorovou jednotkou, ve které je prováděno zpracování za využití hyperbolické metody. [32] [29]



Obrázek 8: Princip fungování multilaterace [33]

Samotný princip určení polohy je znázorněn na obrázku 8 a je založený na faktu, že signál vyslaný objektem (letadlem či jiným mobilním prostředkem) dosáhne každé z pozemních stanic v jiný čas. Časy příjmu signálu se liší jen nepatrně. Je to způsobeno odlišnou vzdáleností objektu od každé z těchto stanic. Nutno podotknout, že pozice jednotlivých pozemních stanic jsou známy. Následně jsou pro získání 3D polohy za pomoci matematických

výpočtů nalezeny průsečky minimálně 4 hyperboloidů (ploch s konstantním rozdílem vzdáleností od dvou přijímačů). V průsečiku těchto 3 hyperboloidů se nachází objekt. [31]

Signál přijímaný pozemními stanicemi pochází z palubních odpovídačů sekundárního radaru módu A/C/S, popřípadě se jedná o signál vysílaný systémem ADS-B. Multilaterace může fungovat také v aktivním provedení, a to při vybavení systému dotazovačem módu A/C/S. Tohoto řešení se využívá v oblastech s nedostatečným krytím sekundárního radaru. [34]

Současné použití

Obecně lze říci, že systém MLAT je využíván v následujících 3 aplikacích. První z nich je sledování pohybů na pohybových plochách letišť, a to i v případech nízké dohlednosti, jakou je například CAT III B. Druhou aplikací je monitorování vzdušného prostoru s radarovým pokrytím. Tou třetí je monitorování vzdušného prostoru bez pokrytí radarem. [34]

Způsob umístění

Jednotlivé pozemní stanice se podle způsobu aplikace mohou umisťovat do vzájemné vzdálenosti až 100 kilometrů. [32]

Přesnost

Pro provoz na pojezdových drahách a drahách určených pro vzlety a přistání letadel je přesnost určení polohy letadel lepší než 7.5 metru. V oblasti stání letadel a odbavovací plochy multilaterační systém dosahuje přesnosti lepší než 20 metrů. [34] Společnost ERA nabízí tento systém s uvedenou přesností na letištních plochách lepší než 7.5 metru s 95 % přesností a přesnost lepší než 40 metrů v 95 % případech pro přiblížení na přistání. [36]

4.4 ADS-B

Popis fungování systému

Automatic Dependent Surveillance – Broadcast je mimo jiné technika sledování letadel i ostatních mobilních prostředků na pohybových plochách letišť. Tato technologie funguje na principu vysílání informací za využití rádiových vln do svého okolí v přesně dané periodě. Na fyzické úrovni existují celkem tři technologie uzpůsobené k přenosu ADS-B zpráv. Konkrétně se jedná o protokoly Mode-S Extended Squitter 1090ES, VDL Mode 4 (VHF data link) a UAT (Universal Access Transceivers. [25] Základní letadlem vysílanou informací je aktuální poloha. Dále se jedná o identifikaci letadla, jeho 24bitovou adresu či informace z palubních přístrojů, například tlakovou výšku či rychlost. Ostatní mobilní prostředky pohybující se po provozních plochách letiště vysílají pouze svou identifikaci a polohové

informace. [29] Pro určení polohy letadel či jiných pozemních prostředků touto technologií jsou využívány informace poskytované družicemi systémů GNSS. Další informace poskytovaná ze systémů GNSS je přesný čas. [38]

Samotným principem fungování této technologie je vysílání všech výše popsaných informací plošně do všech směrů. Palubní zařízení podporující vysílání a příjem ADS-B zpráv uskutečňuje toto vysílání každou vteřinu. Vyslaný signál je následně zachycován pozemními stanicemi, letadly a dalšími pozemními prostředky vybavenými pro příjem ADS-B zpráv. Z pozemní stanice následně putuje signál do střediska řízení letového provozu, kde poskytuje přehledové informace řídícím. [25] [39]

Tato technologie závislého sledování se dále dělí na ADS-B IN a ADS-B OUT. ADS-B OUT je část systému umožňující vysílání informací letadlem či jiným pozemním prostředkem. ADS - B IN umožňuje patřičně vybaveným letadlům přijímat a zobrazovat zprávy vysílané jinými letadly prostřednictvím ADS-B OUT. [40]

Letadla vybavená pro příjem signálu ADS-B prostřednictvím protokolu UAT jsou schopna přijímat také zprávy z meteorologických radarů (FIS-B). Dále je také možné v případě použití protokolů UAT či Mode-S Extended Squitter 1090ES poskytnout z pozemních stanic letadlům letové informace. [41]

Současné použití

V Evropě je instalována síť pozemních stanic systému ADS-B, jejichž počet překračuje hodnotu 1 300. Stanice se nacházejí ve více než 25 státech, mezi které patří i Česká republika. Od roku 2012 také probíhá v Evropě aplikace této technologie na paluby letadel. [42] Na základě nařízení Komise (EU) č. 1207/2011 musí být od 7. června 2020 letadla nacházející se v Evropském vzdušném prostoru vybavena funkcemi ADS-B OUT. [43] Tato podmínka se vztahuje jen na letadla s MTOW větší než 5 700 kg a maximální cestovní rychlostí větší než 250 uzlů. [44] [45]

Přesnost

V případě technologie ADS-B vstupuje do procesu vyhodnocování přesnosti určení polohy cíle více proměnných. První chyba vzniká již ve chvíli, kdy letadlo určuje svou polohu pomocí GNSS. Dále vzniká chyba při zpracování signálu. Časová prodleva mezi dotázním se na polohu systémů GNSS, následným zpracováním, odesláním, příjmem pozemní stanicí, dekódováním zprávy, zpracováním a konečným zobrazením na obrazovce způsobuje nárůst odchylky od skutečné polohy cíle. Důležité také je, že se zvyšující se rychlostí se zvyšuje i výše uvedená odchylka. [46]

Obecně je přesnost systému ADS-B při použití pro sledování pohybů po letištních plochách požadována na základě předpisu od organizace ICAO na hodnotu menší, než je 10 metrů v 95 % případů. [47] Toto platí při použití GNSS jako zdroje polohových informací objektu. [48]

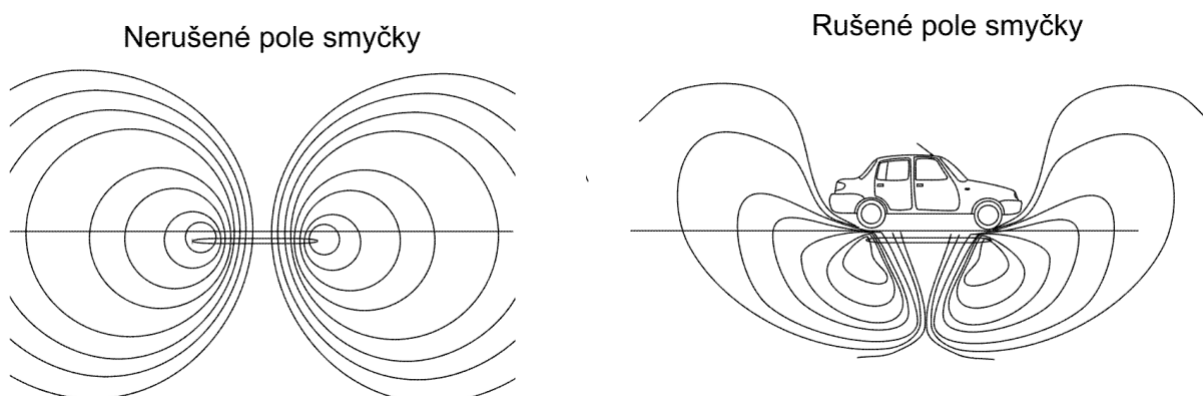
4.5 Indukční smyčky

Popis fungování systému

Detektor se skládá z jednoho či více závitů izolovaného metalického vodiče. Další součástí je propojovací skříň, která slouží jako zesilovač, a ze řídicí jednotky. Okolo závitů smyčky se vytváří homogenní magnetické pole. Jedná se tedy o indukční součást oscilátoru. V případě průjezdu či zastavení cíle nad indukční smyčkou dojde k narušení homogenního magnetického pole kovovými částmi cíle a ke snížení indukčnosti smyčky, jak je znázorněno na obrázku 9. V důsledku toho dochází ke změně indukčnosti cívky. Následné vyhodnocení obsazenosti detektoru se provádí na základě vyhodnocení jedné nebo více změn vyvolaných změnou v indukčnosti cívky. Mezi tyto změny patří změna amplitudy, kdy v případě výskytu cíle nad senzorem dochází k jejímu snížení. Další změnou může být změna frekvence signálu procházejícího vodičem. V tomto případě, pokud je přítomen cíl v citlivé oblasti detekce, je detekována vyšší frekvence. Poslední vyvolanou změnou, kterou je možné pozorovat, je posuv fáze. Systém je také velice dobře chráněn před interferencemi s jinými systémy. [49]

Systém je schopen rozlišovat mezi 4 kategoriemi letadel a vozidel. Různé kategorie letadel a dalších mobilních prostředků produkují odlišné signály, lišící se tvarem, amplitudou, frekvenčním spektrem a dobou trvání. Tento specifický signál se nazývá magnetický profil. Na základě speciálního uspořádání jednotlivých detektorů a vybavení systému specializovaným zařízením lze identifikovat také směr a rychlost pohybu cíle. [50]

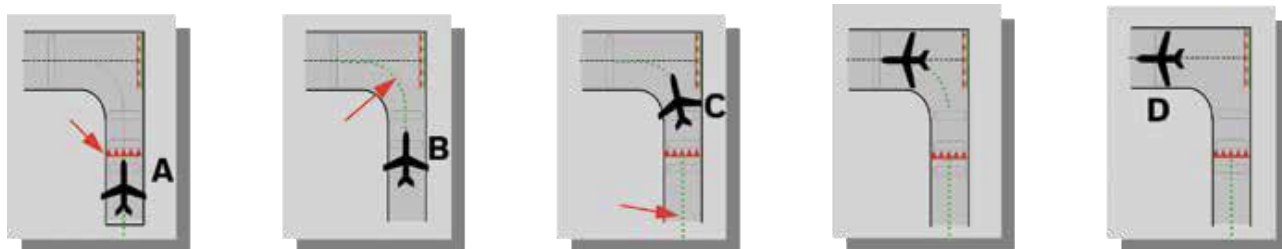
Jde o systém, který nevyžaduje aktivní spolupráci cílů a provádí tedy pasivní detekci.



Obrázek 9: Princip fungování indukční smyčky (silniční doprava) [49]

Současné použití

V současné době se systémy využívající principu indukčních smyček pro detekci cílů v letectví využívají zejména pro detekci neautorizovaného narušení dráhy. Dle dokumentu ICAO Aerodrome Design Manual, čtvrtá část, jsou pro správnou integrovanou činnost stop příček potřebné tři snímací smyčky. [13] První smyčka je umístěna 70 metrů před stop příčkou a jejím úkolem je informovat řídící letového provozu o letadle vyčkávajícím na povolení vstupu na dráhu. Druhá smyčka se nachází ihned za stop příčkou, se kterou je propojená. Jejím účelem je vydávat výstrahy v případě neautorizovaného narušení dráhy. Druhým úkolem tohoto senzoru je znovu zapnout stop příčku ihned po detekování letadla tímto senzorem. Třetí indukční smyčka je umístěna na dráze ve vzdálenosti 120 metrů od jejího prahu. Tento senzor indikuje, že letadlo je na pozici pro vzlet. Dále se také používá pro určování polohy letadel a dalších mobilních prostředků a vedení letadel po pojezdových drahách postupným rozsvěcováním a následným zhasínáním os pojezdových drah – tzv. follow the green. Celý tento proces je zobrazen na Obrázku 10 níže. [51]



Obrázek 10: Využití v letecké praxi [52]

Způsob umístění

Jednotlivé indukční smyčky mohou mít rozměry až 4,5 x 30 metrů. Detektor a jednotku pro zpracování informací lze umístit do vzdálenosti okolo 3 500 metrů v závislosti na výrobci systému. Samotná detekční smyčka je se zbytkem systému propojena pomocí standardního komunikačního kabelu pro přenos signálu. Díky tomu je veškerou elektroniku možné umístit na vhodné místo, kde nebude ovlivňována vnějšími povětrnostními vlivy, a pouze samotný detektor, který je tvořen pouze kabelem s 11 milimetry v průměru, je umístěn v místě určeném pro snímání. Standardně se smyčka umísťuje do vozovky a 75 až 100 milimetrů pod povrch. [49] [51]

Přesnost

Vzhledem k velké variabilitě velikostí indukčních smyček je jejich přesnost obtížné definovat. V závislosti na velikosti detekční části je zjišťováno narušení homogenního magnetického pole. Přesné určení polohy objektu v prostoru indukční smyčky není možné. Tyto systémy jsou určeny spíše k zaznamenávání průjezdů než k detekci přesné polohy objektů. Pokud je ve

vozovce umístěno více senzorů ve známé vzdálenosti, umožňuje systém výpočet rychlosti pohybujících se objektů. [52]

4.6 Snímač magnetického pole Země

Popis fungování systému

Detekce letadel a ostatních mobilních prostředků, které se pohybují po pohybových plochách letišť, probíhá na základě interakce jejich feromagnetických částí, jakými jsou například motory letadel či vozidel, s magnetickým polem Země. Všechny tyto cíle se pohybují po letištních plochách, což má za následek změnu zemského magnetického pole a vznik jejich magnetického podpisu. Tento podpis je způsoben tím, že zemské pole působí jako magnet s předem určeným napětím. Navzdory tomu, že místní změna magnetického pole Země je obvykle velmi malá, detektory magnetického pole jsou schopny změnu spolehlivě detekovat. [53]

Detektory umožňují trojrozměrnou detekci změn magnetického pole Země. V některých případech může docházet k ovlivnění detektorů magnetickým šumem z dalších letištních systémů, jako je například pozemní osvětlení. Tento problém je však většinou možné odstranit jednoduchými postupy zpracování digitálního signálu. Systém je schopný signalizovat základní stavy: „Pole narušeno“ a „Pole nenarušeno“, nebo tříosý signál přes standard sériové komunikace RS-485. V místě uložení snímače dochází k lokální kompenzaci magnetického pole prostřednictvím řídicí smyčky. Při tomto uspořádání je v místě uložení snímače také kompenzační cívka, která je schopna nastavením průchodu proudu cívkou vytvářet opačné magnetické pole, než je magnetické pole vnější. Díky tomuto řešení pracují magnetické snímače v nulovém magnetickém poli. [54]

U tohoto systému je možné provádět klasifikaci zjištěných cílů. Je schopný dělit cíle do minimálně dvou základních skupin. Těmito skupinami jsou automobily a letadla. Cíle je systém schopný klasifikovat na základě maximální úrovně signálu. Při průjezdu autem detekují snímače silnější signály, než je tomu při průjezdu letadel. Jedním z hlavních důvodů je, že automobily obsahují větší množství feromagnetických materiálů. Další příčinou je, že při průjezdu jsou tyto části blíže snímačům. [54]

Důležitým faktem také je, že každé letadlo má jedinečnou velikost a tvar profilu, který systém zaznamenává. Na základě toho je systém schopný identifikace jednotlivých typů letadel. Základní podmínkou pro tuto funkci je vytvoření databáze profilů těchto typů letadel. [54]

Jedná se o systém pasivní detekce, nezávislý na vybavení na palubě letadla. Je schopen poskytovat informace o pozici, rychlosti a směru detekovaného cíle. Lze ho využívat samostatně nebo je možné jeho začlenění do systému A-SMGCS. [54]

Současné použití

Tento systém byl navržen v průběhu projektu Evropské komise s názvem ISMAEL trvajícím od února 2004 do dubna 2007. [55] V průběhu testovacích fází byly senzory umístěny na 3 různých letištích. Jednalo se o letiště Saarbrücken a Frankfurt v Německu a letiště Soluň v Turecku. Letiště v německém Saarbrückenu bylo využito pro výzkum a vývoj detektorů. Následně byly na tomto letišti získávány informace například o rozsahu snímání či chování detektorů při teplotních změnách. Vývojáři detektorů následně využívali tyto výsledky jako zpětnou vazbu pro zlepšování detektorů a tím zpřesňování snímání. Na dvou zbylých letištích bylo řešení použito za účelem vyzkoušení systému v běžném provozu letiště. [56]

V současné době není známa žádná aplikace tohoto systému.

Způsob umístění

Díky malým rozměrům detektorů je možné umístit je v podstatě na jakémkoliv místě. Detektory systému jsou většinou umísťovány pod povrch. Nejvhodnějším způsobem integrace je využití prostoru v šachtách pozemního systému osvětlení, který je již instalován na provozních plochách. [54] Příkladem mohou být šachty osových návěstidel pojezdových drah nebo stop příček. [53]

S ohledem na princip fungování systému a vzhledem k obvyklému umístění detektorů není jeho fungování ovlivňováno povětrnostními podmínkami.

Přesnost

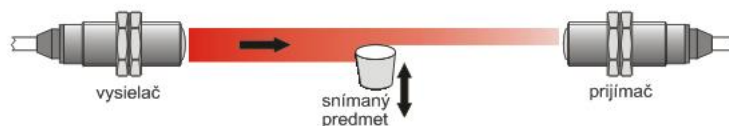
Na základě měření v reálném provozu by zjištěna střední chyba určení polohy v okolí detektoru 5,7 metru. V 75 % případů byla chyba určení polohy v okruhu snímače 7,5 metru. V okruhu menším než 15 metrů od umístění snímače byl objekt detekován v 97 % případů. [53] [56]

4.7 Optoelektronické bezpečnostní závory

Popis fungování systému

Základním principem fungování optické závory je přerušení světelného paprsku mezi vysílačem a přijímačem. Generovaný světelný paprsek je ve většině případů vyzařovaný ve vlnové délce infračerveného světla. Vysílací jednotka s danou periodou vysílá krátké impulzy,

keré následně dopadají na fotocitlivou část přijímače. V případě narušení světelného paprsku objektem dochází ke změně intenzity paprsku dopadajícího na přijímač (obrázek 11). Na straně přijímače následně dojde k převedení impulsu na elektrický signál a dojde k provedení požadované akce, například k pozastavení funkce systému. [57]



Obrázek 11: Princíp fungování optoelektronické závory [58]

Pokud dojde ke spojení dvou a více bezpečnostních ochranných optických elektrozařízení, vznikne takzvaný světelný závěs (obrázek 12). V podstatě se tedy jedná o vytvoření vícepaprskové mříže. Díky tomu je možné dosáhnout vytvoření detekční plochy pro zachycení přítomnosti objektu. Výška snímané oblasti je dána výškou sloupů, na kterých jsou jednotlivá zařízení umístěna. Šířka této oblasti je dána maximální vzdáleností, na kterou je možné jednotlivé vysílače spolu s přijímači umístit. Z hlediska přijímání signálu existují dvě základní provedení. Jedním z nich je jednocestná optoelektronická závora. Tento princip spočívá v tom, že jednotky pro vysílání a příjem signálu jsou umístěny na opačných stranách. Reflexní závory naproti tomu mají jak vysílač, tak i přijímač umístěný ve stejné jednotce, tedy i na stejném místě. Na opačné straně je umístěna pouze odrazka, která vrací vyzářený signál do přijímače. [57] [58]



Obrázek 12: Optoelektronický závěs [59]

Současné použití

Optoelektronická bezpečnostní závora je zařízení, které se používá zejména v případech, kdy je nutné zabezpečit nebezpečná místa či prostory. Běžně se používá v provedení světelných závěsů, a to v různých odvětví průmyslu. Příkladem může být strojní či automobilový. Jedná se hlavně o ochranu pracovníků v době operací mechanických zařízení, která při vykonávání své funkce nepotřebují trvalou přítomnost obsluhy. Jde tedy o poloautomatizované

či automatizované přístroje. [57] [60] Využití této technologie můžeme však nalézt i v občanském životě. Může být použito například jako ochrana při automatickém zavírání garážových vrat v případě, kdy v průběhu jejich pohybu někdo nebo něco vstoupí do jejich blízkosti.

V současné praxi v letištním provozu se tento způsob detekce na pohybových plochách nepoužívá.

Způsob umístění

V případě využití této technologie pro řešení naší problematiky je ideálním provedení v podobě světelného závěsu. K tomu je zapotřebí instalace sloupků z každé strany pojezdové dráhy, neboť vysílač a přijímač musejí být naproti sobě. Minimální výška sloupků pro umístění zařízení musí odpovídat výšce, ve které se nachází koncová část křídla kritického typu letadla, které je letiště na základě svého kódového označení schopno odbavit. Toto opatření slouží ke zajištění detekce všech letadel schopných operovat z tohoto letiště. První z řady snímačů je vhodné umístit do dostatečně malé výšky pro zajištění zachycení všech objektů narušující průjezdný průřez, ale zároveň tak, aby nebyly vytvářené falešné výstrahy v případě velkého spadu sněhu či z důvodu vzrostlé trávy. Od této výšky by měly být sloupky osazeny v celém rozsahu. Je nutné také zajistit dostatečnou ochranu senzorů, aby nebyla znemožněna detekce cíle z důvodu přítomnosti kapek vody či vloček sněhu na přijímací či vysílací části zařízení.

Přesnost

Pokud je zajištěno, že světelný paprsek vyslaný vysílačem dopadne přímo na snímací část přijímače, je schopný tento systém detekovat narušení vytvořené plochy s minimální nepřesností. S rostoucí vzdáleností mezi každým vysílačem a jemu odpovídajícím přijímačem je zachování tohoto kontaktu obtížnější. Přesnost je také ovlivněna parametrem nazývaným rozlišení. Pojem rozlišení označuje svislou vzdáleností mezi dvěma po sobě jdoucími vysílači, a tedy i přijímači. [60] Čím jsou detektory umístěné blíže u sebe, tím hustší síť paprsků jsme schopni vytvořit. Výsledkem je přesnější detekce narušení profilu pro průjezd letadla.

5 Zhodnocení možností pro využití v praxi

V této kapitole jsou ke každému způsobu detekce, uvedenému v předchozí kapitole, uvedeny jeho základní nevýhody. Zejména se jedná o popis takových výhod a nevýhod, které mají přímý vliv na využití posuzovaných způsobů detekce pro řešení problematiky této práce v reálném provozu na letišti.

5.1 Laserové skenování

V návaznosti na princip fungování nejsou systémy na principu LIDARu ovlivněny světelnými podmínkami. Problém netvoří ani stíny nebo velmi jasné sluneční světlo. Laserový paprsek je velice úzký a tím umožňuje mapování prostředí s vysokým rozlišením a s velmi vysokou přesností. LIDAR je také atraktivní tím, že je schopen vytvořit 3D model skenované oblasti. Jednou z dalších výhod může být schopnost integrace s jinými letištními systémy. [61] [62]

Jednou z negativních stránek tohoto řešení je nízká citlivost při snímání materiálů s nízkou mírou odrazivosti. Dále také klade vyšší nároky na vhodné umístění a ochranu, neboť obsahuje pohyblivé části. Tento fakt také zvyšuje nároky na údržbu celého systému. V případě velmi nepříznivého počasí dochází k ovlivnění měřicího paprsku a data mohou být zkreslena, jelikož paprsek špatně proniká skrze silný déšť, mlhu nebo sněžení. V současné době probíhají práce na softwarovém řešení, které mají za účel tento problém odstranit. Jednou z nevýhod LIDARu je také fakt, že jeho pořízení může být poměrně finančně náročné. [61] [62]

5.2 RADAR

5.2.1 Milimetrový radar

Tento systém obsahuje řadu výrazných kladů, které mohou být velmi užitečné pro řešení problematiky této bakalářské práce. Radary využívající oblasti milimetrových vln se vyznačují velmi dobrým dosahem, který je za dobrých povětrnostních podmínek v řádu jednotek kilometrů. Taktéž dosahují vysoké přesnosti určení polohy cíle, a to i v případě nepříznivých povětrnostních podmínek. V důsledku mlhy, silného deště či sněžení dochází pouze ke snížení dosahu radaru. [63] To pro účel této práce netvoří problém, protože detekce letadel v modelové situaci probíhá v řádu desítek metrů. Detekce může beze změn přesnosti probíhat i v noci, není citlivý na světelné podmínky. [64] Tento typ radaru je schopen tvorby 3D modelu skenované situace. [65] Nepotřebuje žádné zařízení na palubě cílů, které budou detekovány. Cíl tedy s tímto radarem nemusí spolupracovat.

V prostoru vyčkávacích míst drah by se na letišti neměl nacházet žádný jiný systém, který pracuje ve frekvenčním pásmu milimetrových vln. Výjimkou může být pojezdový radar SMR s vysokým rozlišením, který funguje ve frekvenčním pásmu 92-96 GHz. [66] V takovém případě by bylo nutno se tomuto konkrétnímu rozsahu pásem při detekci vyhnout.

Jak již bylo zmíněno výše, radar pracuje ve vysokých frekvenčních pásmech, což má za následek jeho vysokou citlivost. Toto může být považováno spíše za nevýhodu. Vytváří se totiž určitá pravděpodobnost, že bude detekovat i falešné cíle. [66]

5.2.2 Pojezdový radar

Pojezdový radar SMR je zařízení, které se již využívá na většině letišť, pro řešení problematiky této bakalářské práce tedy není potřeba jeho dodatečná instalace. Díky jeho současnému využívání je také známo, že jej lze propojit s dalšími letištními subsystemy, jako je například A-SMGCS. Vzhledem k jeho primárnímu účelu poskytování přehledových informací, zejména při podmínkách snížené viditelnosti, je tento systém schopný za těchto podmínek uspokojivě pracovat. Technologie, kterou využívá, se řadí mezi nespolupracující, díky čemuž není vyžadovaná přítomnost jakéhokoliv odpovídače na palubě detekovaných objektů. [26]

Hlavní nevýhodou, která SMR činí pro účely této práce prakticky nepoužitelným, je jeho nedostatečná přesnost určení polohy cílů. Dalším, ačkoliv méně podstatným nevýhodným aspektem je, že v porovnání s jinými systémy (milimetrový radar nebo LIDAR) je schopen vytvořit pouze dvojrozměrné zobrazení dané situace. Vzhledem k tomu, že je pojezdový radar umístěn na střeše řídicí věže, je také komplikovaná a náročná jeho údržba. [26]

5.3 Multilaterační systémy

Přesnost určení polohy a spolehlivost systému jsou dvě z hlavních výhod multilaterace. Mezi další výhody tohoto systému patří využití palubních systémů již instalovaných v letadlech. Tento aspekt snižuje celkovou náročnost instalace systému včetně její finanční stránky. Díky využitým technologiím přenosu informací není systém MLAT ovlivnitelný povětrnostními podmínkami. Protože je systém schopen přijímat signál vysílaný z odpovídačů sekundárního radaru, je schopen také rozlišit dva objekty nacházející se na stejném místě. Celý systém neobsahuje žádné rotující části, čímž se snižují nároky na údržbu stanic. [25] [29]

Pokud se podíváme na nevýhody tohoto systému, jednou z těch hlavních je nutnost rozmístění určitého množství pozemních stanic. Jako minimum pro určení trojrozměrné polohy jsou 4 pozemní stanice. Tento aspekt prodražuje instalaci i následný provoz systému včetně jeho

údržby. [25] Další nevýhodou je fakt, že stanice musejí být propojené s centrální jednotkou provádějící výpočty.

5.4 ADS-B

Získání údajů z většího množství palubních systémů je jednou z největších výhod systému ADS-B. Protože palubní segment systému získává polohové informace ze systémů využívajících satelity GNSS, je určení polohy letadla či jiného cíle přesné. [25] Navíc polohové informace nejsou získané měřením ze země, a proto nemá na určení polohy vliv vzdálenost od pozemní stanice. [29]

Pozemní stanice systému ADS-B jsou rozměrově velmi malé a jejich instalace je jednoduchá. Finančně pořízení pozemní stanice není náročné. Informace o poloze cíle jsou díky vysoké obnovovací frekvenci aktuální. [29] Z jedné stanice je možné získat dosah větší než 150 NM (námořních mil). Tato hodnota je ale reálná pouze za předpokladu, že nejsou žádné terénní překážky mezi pozemní stanicí a letadlem. [67]

Dále je možné propojení tohoto systému s multilateračními systémy. [25]

Jako každý systém má i ADS-B několik nevýhod. Jednou z nich je nutnost instalace nového vybavení na paluby letadel a mobilních prostředků pohybujících se po pohybových plochách. Z důvodu zjišťování polohy ze satelitů GNSS a následného zpracování vzniká zpoždění informací, které se dostávají na obrazovku řídicích letového provozu. [25] Druhým z problémů vycházejících z využívání GNSS je závislost získávání informací o poloze z tohoto systému. Pokud z jakéhokoliv důvodu nebudou satelity k dispozici, nebude ADS-B schopno poskytovat údaje o poloze. [29]

5.5 Indukční smyčky

Využití indukčních smyček při detekci cílů je díky jejich jednoduchosti z finančního hlediska velmi výhodné. Dalším faktem, hovořícím ve prospěch využití detekčních smyček je, že se jedná o funkční a osvědčenou technologii. Takto fungující snímače se používají v silniční dopravě po celém světě. Vzhledem k tomu, že detekční část tvoří pouze kabel, je zajištěna flexibilita při instalaci do vozovky. Lze přizpůsobit velikost smyčky šířce vozovky, ať už jde o pojezdové dráhy či dráhy určené pro vzlety a přistání letadel. Díky tomu, že celý systém funguje na základě vytváření magnetického pole, dále také díky jednoduchosti provedení a umístění detektoru do vozovky, je umožněno využití za jakýchkoliv povětrnostních podmínek. Mezi klady tohoto systému patří také v omezené míře možnost určení kategorie cíle na základě jeho délky. [49]

Naopak hlavní nevýhodou, která znemožňuje použití v naší problematice, je nepřesnost určení polohy. Mezi další aspekty, které mluví v neprospěch tohoto systému, patří narušení provozu v místě instalace smyčky či snížení citlivosti v důsledku armování či špatné kvality povrchu. Dále také snižuje životnost vozovky a v případě výměny povrchu v místě uložení detektoru je často nutná nová instalace detektoru. Vzhledem k tomu, že je systém schopen rozlišovat kategorie cílů, je třeba vytvořit celkovou databázi a pravidelně ji aktualizovat. [49]

5.6 Snímač magnetického pole Země

Mezi hlavní přínosy tohoto systému, mimo nízkou pořizovací cenu, patří malá velikost snímačů, která umožňuje instalaci na téměř libovolném místě. Tento systém je efektivním nástrojem pro určování polohy cílů, a to jak samostatný nástroj, tak i v podobě doplňkového systému pro A-SMGCS. Systém je schopný určovat pozici cílů při jakémkoliv počasí, což z něj tvoří ideální nástroj pro detekci letadel a dalších mobilních zařízení v místech letišť, kde z jakýchkoliv důvodů není možné použít jiné přehledové systémy (ADB-B, multilaterace). Mezi tyto problémy může například patřit nedostatečné pokrytí daného místa signálem. [53] Díky schopnosti nezávislé detekce není požadováno žádné dodatečné vybavení na palubách letadel či ve vozidlech. Výhodou tohoto systému je také klasifikace cílů, která umožňuje v základním provedení rozlišovat mezi vozidlem a letadlem a v případě vytvoření databáze profilů i rozpoznání jednotlivých typů a popřípadě podtypů letadel. [53]

Zásadním faktem, kvůli kterému je tento systém v zadané problematice v zásadě nepoužitelný, je nepřesnost určení polohy. Vzhledem k tomu, že se pohybujeme v limitních hodnotách vzdáleností pro správné zastavení letadla, přesnost určení polohy v okruhu 7,5 metru není dostačující. [54] Schopnost systému rozlišovat mezi jednotlivými typy letadel má také svou zápornou stránku. Pro správné a přesné fungování systému je zapotřebí vytvoření kompletní databáze letadel a následně její průběžná aktualizace. Pro vytvoření jednotlivých zón detekce by bylo nutné vytvořit velké množství šachet v povrchu pojezdových drah. V případě osazení detektorů pouze do šachet návěstidel mezilehlého vyčkávacího místa by byl systém schopen detekovat narušení průjezdného profilu. Nebylo by však možné určit konkrétní kategorie letadel, pro které je zaručený bezpečný průjezd křížením.

5.7 Optoelektronické bezpečnostní závory

Nespornou výhodou tohoto systému je jeho jednoduchost z hlediska použité technologie. Celý systém neobsahuje pohyblivé části, čímž se snižují náklady na údržbu celého systému. Vzhledem k jednoduchosti celého systému jsou také pořizovací a provozní náklady nízké.

Jednou z nevýhod bezpečnostní závory je její náchylnost k detekci falešných cílů. Jakýkoliv objekt, který se vyskytne ve snímané oblasti, bude detekován a vyhodnocen jako narušení. Příkladem může být letící pták, ale i meteorologické jevy jako je silný déšť či sněžení.

Hlavní nevýhodou tohoto systému je ale způsob jeho umístění. Pro vytvoření požadovaného množství detekčních zón by bylo potřeba umístit sloupky s vysílači a přijímači přímo do prostoru pojezdových drah, kde by působily překážku v provozu.

Konkrétní maximální vzdáleností, na kterou od sebe lze umístit vysílač a přijímač, se mohou u jednotlivých výrobců lišit. Data od konkrétního výrobce, která byla použita pro tuto práci, stanovují tuto vzdálenost na 30 metrů. [68] Toto lze považovat za hlavní nevýhodu bezpečnostní závory z toho důvodu, že rozsah snímané oblasti přesahuje 44 metrů, systém tedy není v první řadě možno umístit, není tedy možno ani zajistit monitoring celého rozsahu pojezdové dráhy včetně jejích pásů.

Z důvodu konstrukčního řešení umístění daného systému by v případě vytvoření čtyř odlišných detekčních zón vznikla překážka v průjezdném průřezu pro letadla kategorie vyšší než C.

6 Výběr nejvhodnější varianty

V předchozí kapitole jsou popsány systémy sloužící k detekci objektů a které jsou s výjimkou optoelektronické závory běžně využívané na letištích. Z těchto výše uvedených systémů byly na základě principu jejich fungování a popsaných výhod a nevýhod zvoleny celkem dva nejvhodnější. Jedním z nich je LIDAR a druhé místo zaujímá milimetrový radar. Princip jejich fungování je do značné míry společný. Oba tyto systémy skenují oblast za pomoci vyslání a následného zachycení odrazu od objektů. LIDAR využívá k měření vzdáleností od jednotlivých objektů a následnému vytváření modelu laserový paprsek, zatímco milimetrový radar využívá rádiových vln.

LIDAR a milimetrový radar byly zvoleny zejména z důvodu jejich vysoké přesnosti určení polohy a způsobu detekce. Obě zařízení jsou schopna vytvářet trojrozměrné zobrazení celé situace, včetně určení přesné pozice svislých ocasních ploch letadel. Malé rozměry obou systémů a způsob umístění do prostoru vedle pojezdové dráhy jen přispívají k využití jedné z těchto variant. Je potřeba také myslet na fakt, že ani jeden z těchto systémů nevyžaduje k detekci cíle jeho aktivní spolupráci. Letadla tedy nemusejí být vybavena žádnými dalšími přístroji.

Každý z těchto systémů lze využít v odlišných povětrnostních podmínkách, a proto záleží na zeměpisné poloze daného letiště. Je známo, že LIDARové systémy mají problém správně fungovat za zhoršených povětrnostních podmínek, zejména pak za silného sněžení. Tyto problémy je možné částečně eliminovat využitím speciálních počítačových programů. Využití LIDARu pro detekci pozice letadel je tedy vhodnější v oblastech s nízkým výskytem sněhových srážek. Milimetrový radar je proti vlivům přírody odolnější, což umožňuje jeho instalaci do náročnějších oblastí z hlediska počasí.

Důležité je poznamenat, že při velmi špatných povětrnostních situacích (např. srážky přesahující 16 mm/hod) budou problémy s přesností vznikat u obou těchto systémů. Nicméně v případě takovýchto povětrnostních podmínek se na letištích aplikují speciální postupy, mezi které patří i zvýšený rozstup mezi pojíždějícími letadly.

Ostatní systémy, jako je ADS-B či MLAT, nebyly vybrány z důvodu principu jejich fungování a výše uvedené přesnosti určení polohy. Z této příčiny není možné přesné určení pozice jednotlivých částí letadla (např. koncová část křídla či ocasní část letadla), které je klíčové pro řešení problematiky této práce. Optoelektronickou bezpečnostní závory není možné využít zejména z důvodu malé vzdálenosti, na kterou lze vysílač s přijímačem od sebe umístit.

6.1 Provoz systému

Zařízení pro detekci budou v první řadě užívat organizace zabezpečující řízení letového provozu na konkrétním letišti.

Výhodou, kterou toto zařízení přináší organizaci zajišťující řízení letového provozu na daném letišti, je poskytnutí informace o možnosti bezpečného průjezdu letadel různých kategorií za letadlem stojícím na vyčkávacím místě dráhy. Dojde také ke zvýšení přehledu o pohybech letadel v těchto místech.

Provozovatel daného letiště instalací některého z vhodných zařízení dosáhne zejména zvýšení propustnosti dráhy, a to v jednotkách pohybů za hodinu ve špičkových hodinách, a dále také zvýšení bezpečnosti provozu na pohybových plochách.

Při řešení otázky, zda bude provozovatelem instalovaného zařízení provozovatel letiště či organizace zajišťující řízení letového provozu na daném letišti, se naskýtá několik variant. Jednou z možností je, že provozovatelem zařízení bude provozovatel letiště, jakožto majitel infrastruktury, a organizace zajišťující řízení letové provozu toto zařízení bude využívat. Vlastníkem i provozovatelem detekčního zařízení může být také pouze organizace zabezpečující řízení letového provozu. V jednotlivých případech bude záviset na vzájemném smluvním vztahu těchto organizací.

6.2 Možnost začlenění do systému A-SMGCS

Popis A-SMGCS

A-SMGCS je systém skládající se z různých modulů. Jednotlivými moduly jsou myšleny systémy používané v letectví, jako například ADS-B, SMR, MLAT, spojených do jednoho za účelem plnění níže popsaných úkolů. Problematikou A-SMGCS se zabývají zejména dvě mezinárodní organizace a v souvislosti s tím jsou známy také dvě různé definice. Jako první se jedná o mezinárodní organizaci ICAO, která publikovala v roce 2004 dokument týkající se problematiky A-SMGCS s názvem Advanced Surface Movement Guidance and Control Systems (A-SMGCS) Manual, který definoval minimální požadavky tohoto systému. [72] Druhou mezinárodní organizací, zabývající se problematikou A-SMGCS, je EUROCONTROL. V dokumentu Specification for Advanced-Surface Movement Guidance and Control System (A-SMGCS) Services z roku 2018 definoval specifikace pro implementaci systému na letištích. [69] Systém je vyráběn a dodáván více výrobci, přičemž každý nabízí trochu odlišné služby s využitím rozličných technologií. [70] [71] Z tohoto důvodu bude tato práce využívat údaje uvedené v předpise ICAO.

ICAO byla první organizací, která definovala systém A-SMGCS. A-SMGCS je systém zajišťující směřování, vedení a dohled nad řízením letadel a vozidel za účelem zachování deklarované rychlosti pohybu za všech povětrnostních podmínek v rámci AVOL při zachování požadované úrovně bezpečnosti. [72] Organizace EUROCONTROL definovala systém takto – A-SMGCS neboli Advanced Surface Movement Guidance & Control System je systém podporující operace spojené s pozemními pohyby mobilních prostředků na pohybových plochách letišť za všech povětrnostních podmínek na základě přesně definovaných provozních podmínek. [73]

V samotné podstatě je A-SMGCS soubor systémů poskytující mnoho funkcí pro podporu bezpečného, řádného a rychlého pohybu letadel a dalších mobilních prostředků po letištích. Využití tohoto systému je možné za všech okolností s ohledem na hustotu provozu a složitost uspořádání provozních ploch. To vše s přihlédnutím na požadovanou kapacitu provozu za různých podmínek dohlednosti. [74]

V závislosti na pohledu jednotlivých organizací se také liší dělení funkcí tohoto systému. Podle ICAO se systém A-SMGCS skládá ze 4 základních funkcí (dozor, řízení, plánování/směřování a vedení). ICAO ve svém dokumentu formulovalo 4 úrovně implementace systému založených na složitosti a hustotě provozu. [72] EUROCONTROL namísto toho zvolil funkční definici. Funkce nebo také služby jsou označovány názvy. [69] Definice ICAO a EUROCONTROL si neodporují. Nabízení jen pohled na dělení z jiné perspektivy. [74] Přesnost systému A-SMGCS je přímo závislá na přesnosti jednotlivých modulů připojených do tohoto sdružujícího systému.

6.2.1 Problematika začlenění do A-SMGCS

Oba způsoby, vyhodnocené jako vhodné pro použití za účelem určení přesné pozice letadla, jsou již využívané některými letištními systémy.

Laserové skenování se využívá v letištní praxi pro navigaci posádky letadla, aby správně zastavila na stání. Tyto systémy se nazývají A-VDGS a využívají se pro tento účel na letištích po celém světě. Výrobci A-VDGS ho vytvářejí s možností jeho začlenění jako subsystém systému A-SMGCS. [75]

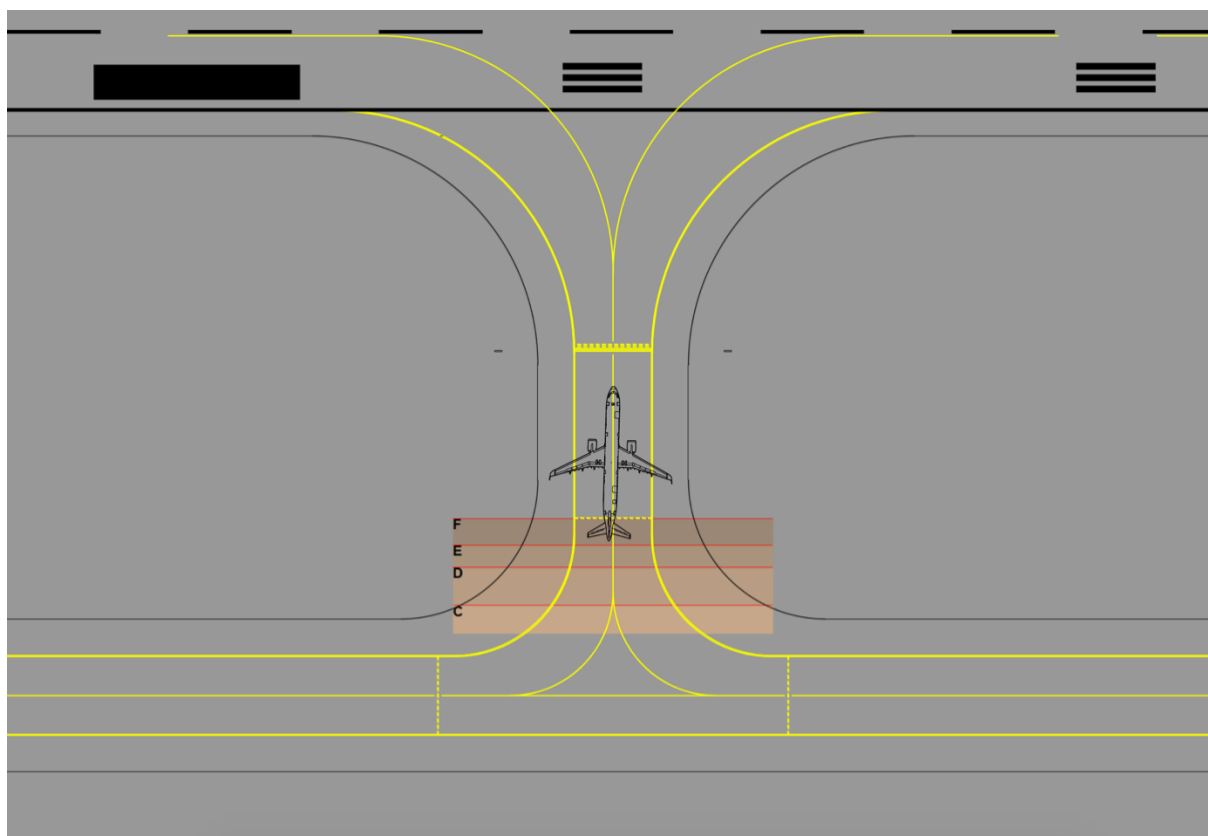
Využití milimetrového radaru na letištích už tak časté není. Tedy alespoň na pohybových plochách. V některých případech ovšem využívá milimetrových vln pojezdový radar za účelem zlepšení jeho rozlišovacích schopností. Pojezdové radary jsou jedním ze základních systémů poskytujících potřebná data pro fungování A-SMGCS. [76]

Není předpokládán žádný problém při potřebě připojení milimetrových radarů nebo systémů využívající LIDAR, umístěných v okolí vyčkávacích míst, jako zdroj dat do A-SMGCS.

7 Návrh řešení modelové situace

Hlavním úkolem pro vytvoření optimálního řešení modelové situace popsané v kapitole 3, a vlastně i analogické situace na jakémkoliv letišti, je vytvoření dostatečného množství detekčních oblastí o správné velikosti. Jejich počet závisí na kódovém označení letiště, které je v tomto případě 4F. Je tedy zapotřebí vytvořit 4 oblasti, a to pro letadla kategorií C až F. Každé kategorii letadla náleží jedna detekční zóna. Velikost jednotlivých zón detekce je závislá na minimální bezpečné vzdálenosti konce křídla od objektu každé této kategorie letadel. Tyto hodnoty je možné získat z předpisu L14. [6] Důležité je ale zmínit, že minimální bezpečné vzdálenosti pro vytvoření popsaných oblastí nejsou počítány od konce křídel vyobrazených letadel, nicméně jsou počítány od největšího možného rozpětí křídel, které může letadlo dané kategorie mít. Například aby letadlo patřilo do kategorie C, musí mimo jiné splňovat požadavek maximálního rozpětí křídel do 35,99 metrů.

Takto vytvořené zóny jsou zobrazeny na obrázku 13, barevně odlišeny a označeny písmeny C, D, E a F. Tato označení odpovídají příslušným kategoriím letadel. Z toho vyplývá, že narušením detekční zóny F je narušen i bezpečný průjezdný profil pro letadla kategorie F.



Obrázek 13: Vytvořené detekční zóny C až F

7.1 Popis řešení modelové situace

Případ popsáný v předchozím odstavci odpovídá modelové situaci, přesněji průjezdu letadla kategorie F. Ocasní část Airbusu A321 NEO vyčkávajícího na vzlet z křižovatky zasahuje do oblasti označené jako F, což je minimální bezpečný průjezdný profil pro průjezd Airbusu A380.

Při správném fungování detekčního systému je ihned po zastavení vyčkávajícího letadla, kterým je v našem případě Airbus A321 NEO, zjištěno a vyhodnoceno narušení detekční oblasti F a tím i bezpečného průjezdného profilu pro letadla tomu odpovídající. Všechny následující detekční zóny zůstávají bez narušení. Následnou reakcí systému je vyslání zpracované informace do systému A-SMGCS, který zobrazí upozornění o narušení oblasti na obrazovce řídicího letového provozu na letišti. V návaznosti na upozornění by do vyklizení vyčkávajícího místa u křižovatky nemělo být umožněno pojíždění letadel kategorie F tímto místem, popřípadě by již jedoucí letadlo mělo před místem křížení zastavit a vyčkat na uvolnění dostatečné plochy pro průjezd.

Jelikož v modelové situaci vyčkávající Airbus částí svého trupu narušil pouze tu detekční zónu, která je nejbližší k mezilehlému vyčkávacímu místu, zbylé kategorie letadel nemají při průjezdu křižovatkou pojezdových drah A a B žádnou překážku a mohou projíždět bez omezení.

Může však nastat i situace, při kterých letadlo zastaví na vyčkávacím místě dráhy ve větší vzdálenosti, než je minimální potřebná pro zajištění vizuálního kontaktu se značením vyčkávacího místa RWY. Za předpokladu, že toto nastane v modelové situaci při míjení s letadlem kategorie E, bude následkem omezení letadel způsobilých k průjezdu pouze na kategorie D, C a nižší. To je způsobeno malou vzdáleností mezi ocasem Airbusu A321 NEO a koncem bezpečnostní plochy Boeingu 777-300ER pohybující se okolo 1 metru.

V reálném provozu na letištích po celé Evropě lze nalézt případy, kdy místo jednoho Airbusu A321 NEO na vyčkávacím místě pro vzlet z křižovatky zastaví dvě menší letadla za sebou. Mohou to být například dvě ATR 42. Samotná ATR 42 se svou délkou 22,67 metru nenarušuje žádnou z detekčních zón. Zastaví-li na tomto vyčkávacím místě RWY dvě ATR 42 za sebou se vzájemným rozstupem 10 metrů, bude narušena bezpečná vzdálenost konce křídla od překážky pro letadla kategorie D a tím i detekční zóna D. Systém předá zpracované informace do A-SMGCS, který ji poskytne řídicímu letového provozu v řídicí věži.

8 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zmapovat způsoby, kterými je možné provádět zjišťování přesné pozice letadel při jejich zastavení na vyčkávacím místě dráhy, a následně zvolit ty z technologického hlediska nejvhodnější, které lze využít pro řešení uvedené problematiky. Pro její vypracování bylo zapotřebí nastudovat legislativní rámec týkající se letišť a provozu na nich. Na základě zjištěných informací a s využitím naměřených dat byla v programu Autodesk AutoCAD vytvořena modelová situace zobrazující zadanou problematiku pozice letadel. Ta byla umístěna do prostoru letiště kategorie 4F. Vyobrazeným křížením pojezdových drah byla provedena simulace průjezdu letadel kategorií C, D, E a F v programu AviPLAN.

V práci byly popsány jednotlivé systémy, které by mohly potenciálně sloužit pro tento druh detekce. Popis každého tohoto systému obsahuje stručné vysvětlení jeho fungování z technologického hlediska, současné využití a potenciální způsob umístění. Pro každý systém byl uveden nejdůležitější údaj pro účely této práce, kterým je přesnost detekce pozice letadla. Následovalo vyhodnocení výhod a nevýhod jednotlivých systémů z hlediska jejich použití pro zadanou problematiku. Na základě závěrů z tohoto vyhodnocení byly vybrány celkem dva způsoby detekce, které jsou zejména z hlediska schopnosti vytvořit trojrozměrný model situace a přesnosti určení polohy nejvhodnější k řešení zadaného problému. Popsán byl také způsob využití takového systému na letišti, včetně načrtnutí výhod, které změna přinese, a jednotlivých variant způsobu jeho provozování. Následuje také popis možnosti jejich začlenění do letištního systému A-SMGCS.

Za využití těchto dvou vybraných způsobů zjišťování pozice byl vytvořen návrh řešení modelové situace. Ten v první řadě obsahuje popis tohoto řešení s pomocí vytvoření detekčních zón, které nesmí být vyčkávajícími letadly narušeny. Ty byly navrženy na základě maximálních možných rozměrů letadel jednotlivých kategorií s přihlédnutím na nutnost dodržení bezpečnostních zón, které byly zjištěny z uvedené legislativy. Řešení modelové situace bylo následně popsáno v samostatné podkapitole. Bylo shrnuto, která kategorie letadel by mohla činit z hlediska bezpečnosti potíže při průjezdu a následně byly na tuto kategorii aplikovány systémy detekce, jež byly vybrány v předchozí části práce. Nad rámec modelové situace byl dále popsán i odlišný případ, při kterém na vyčkávacím místě dráhy ve stejný moment stála letadla dvě, která byla jednotlivě kratší než letadlo popsané v modelové situaci, včetně popisu vyhodnocení tohoto případu vybranými systémy.

Vzhledem k úspěšnému výběru vhodných systémů a jejich implementování do řešení modelové situace lze říci, že účel této bakalářské práce byl splněn. Její přínos tkví ve zhodnocení převážně letištních technologií vhodných pro detekci objektů a ve vytvoření jejich uceleného přehledu. Práce je limitována absencí jiných studií, které by byly též zaměřené

na řešení či popis této problematiky. Z toho důvodu v čase psaní této práce není možné porovnat zjištěné závěry s jinými zdroji. Pro další vývoj v oblasti této problematiky lze v budoucnu v rámci jiné práce teoreticky popsat konkrétní implementaci těchto technologií na zvolené místo a případně na tomto základě také uvést tyto systémy detekce do skutečného letištního provozu.

Seznam použité literatury

- [1] Global airport capacity crisis amid passenger boom: IATA. Phys.org - News and Articles on Science [online]. 4. červen 2018 [cit. 2019-08-25]. Dostupné z: <https://phys.org/news/2018-06-global-airport-capacity-crisis-passenger.html>
- [2] GAUCI, Jason a David ZAMMIT-MANGION. Obstacle Detection around Aircraft on Ramps and Taxiways through the use of Computer Vision. In: *ResearchGate*[online]. 2009 [cit. 2019-08-23]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/268557289_Obstacle_Detection_Around_Aircraft_on_Ramps_and_Taxiways_Through_the_Use_of_Computer_Vision
- [3] EASA by Country. EASA [online]. [cit. 2019-08-23]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/international-cooperation/easa-by-country>
- [4] CS-ADR-DSN (Návrh letišť). 4. Úřad pro civilní letectví, 2017. Dostupné také z: <https://www.caa.cz/dokumenty/predpisy/rozhodnuti-vykonneho-reditele-easa/certifikacni-specifikace/cs-adr-dsn-navrh-letist/>
- [5] About ICAO. ICAO [online]. [cit. 2019-08-23]. Dostupné z: <https://www.icao.int/about-icao/Pages/default.aspx>
- [6] Předpis L14 Letiště [online]. [cit. 2019-08-23]. Dostupné z: https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-14/data/print/L-14_cely.pdf
- [7] Letecký předpis L2 Pravidla létání [online]. [cit. 2019-08-23]. Dostupné z: https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/print/L-2_cely.pdf
- [8] ICAO Annexes and Doc Series. SKYbrary [online]. 2017 [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: https://www.skybrary.aero/index.php/ICAO_Annexes_and_Doc_Series
- [9] Annexes 1 to 18 [online]. In: International Civil Aviation Organization [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: https://www.icao.int/safety/airnavigation/NationalityMarks/annexes_booklet_en.pdf
- [10] KHIRELDIN, Awad. ICAO Requirements on Certification of Aerodromes [online]. In: . [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: http://www.acao.org.ma/programmes/1476868530_2.pdf
- [11] Aerodrome Design Manual 1: Runways. International Civil Aviation Organization, 2006. 3. Dostupné také z: https://www.bazl.admin.ch/dam/bazl/de/dokumente/Fachleute/Flugplaetze/ICAO/icao_doc_9157_aerodromedesignmanual-part1.pdf.download.pdf/icao_doc_9157_aerodromedesignmanual-part1.pdf
- [12] Aerodrome Design Manual 2: Taxiways, Apron and Holding Bays. 4. International Civil Aviation Organization, 2005. Dostupné také z: https://www.bazl.admin.ch/dam/bazl/de/dokumente/Fachleute/Flugplaetze/ICAO/icao_doc_9

157_aerodromedesignmanual-part2.pdf.download.pdf/icao_doc_9157_aerodromedesignmanual-part2.pdf

[13] Aerodrome Design Manual 4: Visual Aids. 4. International Civil Aviation Organization, 2004. Dostupné také z: https://www.bazl.admin.ch/dam/bazl/de/dokumente/Fachleute/Flugplaetze/ICAO/icao_doc_9157_aerodromedesignmanual-part4.pdf.download.pdf/icao_doc_9157_aerodromedesignmanual-part4.pdf

[14] JABOYEDOFF, Michael. Mapping and Monitoring of Landslides Using LIDAR. SINGH, Ramesh a Darius BARTLETT. Natural Hazards: Earthquakes, Volcanoes, and Landslides. CRC Press Taylor & Francis Group, 2018, s. 397-420. ISBN 9781138054431. Dostupné také z: https://www.researchgate.net/publication/328019245_Mapping_and_Monitoring_of_Landslides_Using_LIDAR

[15] ADB SAFEGATE launches Safedock X, a new era in airport gate operations [online]. Singapur, 2019 [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: https://adbsafegate.com/media/9911/adbsafegate_press-release_safedock-x_190227_final.pdf

[16] MATOUŠ, Štěpán. Palubní přístroje II. Praha, 2004. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce RNDr. Martin Vecko, CSc.

[17] Measurement of the elevation angle. Radar Basics [online]. 1998 [cit. 2019-08-26]. Dostupné z: <http://www.radartutorial.eu/01.basics/Measurement%20of%20the%20elevation%20angle.en.html>

[18] BELAIDI, Hadjira, Hamid BENTARZI, Abderrahmane BELAIDI a Abdelfetah HENTOUT. Terrain Traversability and Optimal Path Planning in 3D Uneven Environment for an Autonomous Mobile Robot. Arabian Journal for Science and Engineering [online]. 2014, 39(11), 8371-8381 [cit. 2019-08-24]. DOI: 10.1007/s13369-014-1352-8. ISSN 1319-8025. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s13369-014-1352-8>

[19] Mikrovlnný radar pracuje při mlze i v prašném prostředí. Automa: Časopis pro automatizační techniku [online]. 2013, 12/2013, 2013(12), 27 [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: http://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/10895.pdf

[20] MmWave sensors – What is mmWave. Texas Instruments [online]. [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: <http://www.ti.com/sensors/mmwave/what-is-mmwave.html#>

[21] SHIRAKAWA, Kazuo, Shuhei KOBASHI, Yasuhiro KURONO, Masayoshi SHONO a Osamu ISAJI. 3D-Scan Millimeter-Wave Radar for Automotive Application. Technical Journal [online]. 2013, 2013, (38), 3-7 [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: <https://www.denso-ten.com/business/technicaljournal/pdf/38-1.pdf>

- [22] AHMED, Sherif, Andreas SCHIESSL, Frank GUMBMAN, Marc TIEBOUT, Sebastian METHFESSEL a Lorenz-Peter SCHMIDT. Advanced Microwave Imaging. IEEE Microwave Magazine [online]. 2012, 13(6), 26-43 [cit. 2019-08-24]. DOI: 10.1109/MMM.2012.2205772. ISSN 1527-3342. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6305002/>
- [23] The fundamentals of millimeter wave sensors. Texas Instruments [online]. 2017 [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/wp/spyy005/spyy005.pdf>
- [24] XIAO, Shao-Qiu, Ming-Tuo ZHOU a Yan ZHANG. Millimeter wave technology in wireless PAN, LAN, and MAN. Boca Raton: CRC Press, c2008. Wireless networks and mobile communications series. ISBN 978-0-8493-8227-7.
- [25] ING. MIČKAL, Ondřej. Optimalizace prostředků ZLT na letišti Ostrava (náhrada pojezdového radaru) [online]. Brno, 2011 [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace?zp_id=38334. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Slavomír Vosecký, CSc.
- [26] LUKIN, Konstantin, Anatolij MOGILA, Gaspare GALATI a Gabriele PAVAN. Novel concepts for Surface Movement Radar design. In: 2008 Tyrrhenian International Workshop on Digital Communications – Enhanced Surveillance of Aircraft and Vehicles [online]. IEEE, 2008, 2008, s. 1-6 [cit. 2019-08-24]. DOI: 10.1109/TIWDC.2008.4649037. ISBN 978-88-903482-0-4. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4649037/>
- [27] LANDRY, Joanne a Shane INGOLIA. Ramp safety practices [online]. Washington, D.C.: Transportation Research Board, c2011 [cit. 2019-08-24]. ACRP synthesis, 29. ISBN 978-0-309-14353-0. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=HOPU63xbMckC&hl=cs&source=gbs_navlinks_s
- [28] Surface Movement Radar. SKYbrary [online]. [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: https://www.skybrary.aero/index.php/Surface_Movement_Radar
- [29] ING. BURIÁN, Peter. Identifikace pohybů na letištní ploše [online]. Brno, 2008 [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace?zp_id=9505. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Slavomír Vosecký, CSc.
- [30] Multilateration. SKYbrary [online]. [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: <https://www.skybrary.aero/index.php/Multilateration>
- [31] MLAT. Moderní letecká navigace [online]. [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: <http://www.airnav.eu/index.php?stranka=mlat>
- [32] Multilateration: Executive Reference Guide [online]. [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: <http://www.multilateration.com/downloads/MLAT-ADS-B-Reference-Guide.pdf>

- [33] Multilateration (MLAT) Overview. In: FlightAware [online]. [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: <https://flightaware.com/adsb/mlat/>
- [34] Multilateration (MLAT) Concept of use [online]. International Civil Aviation Organization Asia and Pacific Office, Září 2007 [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: https://www.icao.int/APAC/Documents/edocs/mlat_concept.pdf
- [35] TURNER, Ron. Multilateration Technology Overview [online]. Syracuse, New York: Sensis Corporation [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: https://www.icao.int/Meetings/AMC/MA/2007/surv_semi/Day02_SENSIS_Turner.pdf
- [36] Surface Movement System [online]. [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: <https://www.era.aero/downloads/data-sheets/Surface.pdf>
- [37] ADS-B: ADS-B In Pilot Applications. Federal Aviation Administration [online]. 2018 [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: <https://www.faa.gov/nextgen/programs/adsb/pilot/>
- [38] ADS-B Implementation and Operations Guidance Document: Edition 7.0 [online]. International Civil Aviation Organization Asia and Pacific Office, Září 2014 [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: https://www.icao.int/APAC/Documents/edocs/cns/ADSB_AIGD7.pdf
- [39] ADS-B: Automatické sledování a vysílání závislé na GNSS (ADS-B). ERA [online]. [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: <https://www.era.aero/cs/technology/ads-b>
- [40] HOUSTON, Sarina. The Differences Between ADS-B Out and ADS-B In. The Balance Careers [online]. 20. srpna 2019 [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: <https://www.thebalancecareers.com/what-s-the-difference-between-ads-b-out-and-ads-b-in-282562>
- [41] ADS-B: ADS-B In Pilot Applications. Federal Aviation Administration [online]. 2018 [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: <https://www.faa.gov/nextgen/programs/adsb/pilot/>
- [42] Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B). SKYbrary [online]. [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: [https://www.skybrary.aero/index.php/Automatic_Dependent_Surveillance_Broadcast_\(ADS-B\)#Aircraft_Equipment](https://www.skybrary.aero/index.php/Automatic_Dependent_Surveillance_Broadcast_(ADS-B)#Aircraft_Equipment)
- [43] PROVÁDĚČÍ NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 1207/2011. Úřední věstník Evropské unie. 2011. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1396865968400&uri=CELEX:32011R1207>

- [44] ADS-B Implementation and Operations Guidance Document: Edition 7.0 [online]. International Civil Aviation Organization Asia and Pacific Office, Zář 2014 [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: https://www.icao.int/APAC/Documents/edocs/cns/ADSB_AIGD7.pdf
- [45] THURBER, Matt. Europe ADS-B Mandate Coming June 2020. AIN online [online]. 19. květen 2019 [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: <https://www.ainonline.com/aviation-news/business-aviation/2019-05-19/europe-ads-b-mandate-coming-june-2020>
- [46] NORGER, Neufeldt. Non-Radar Surveillance ADS-B/MLAT/WAM Products [online]. Thales, březen 2017 [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: https://www.icao.int/SAM/Documents/2017-ADSB/14%20THALES_%20NRS_Products_SEP_2017.pdf
- [47] USE OF ADS-B FOR AIRPORT SURFACE MOVEMENTS (ADS-B APT) [online]. ICAO, červen 2017 [cit. 2019-08-25]. Dostupné z: https://www.icao.int/APAC/Meetings/2017%20SURICG2/WP06_NZ%20AI.%2010%20-%20Use%20of%20NUCp%200%20and%20NUCp%206%20for%20ADS-B%20APT.pdf
- [48] Second Meeting of the Surveillance Implementation Coordination Group [online]. International Civil Aviation Organization, červen 2017 [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: https://www.icao.int/APAC/Meetings/2017%20SURICG2/WP06_NZ%20AI.%2010%20-%20Use%20of%20NUCp%200%20and%20NUCp%206%20for%20ADS-B%20APT.pdf
- [49] PŘIBYL, Ondřej. Detektory zasahující do vozovky, úvod do detekce: Měření a zpracování dat (MDS) [online]. Ústav aplikované matematiky ČVUT v Praze, Fakulta dopravní [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: <https://1url.cz/sMSbg>
- [50] META, Soner a Muhammed G. CINSDIKICI. Vehicle-Classification Algorithm Based on Component Analysis for Single-Loop Inductive Detector. IEEE Transactions on Vehicular Technology [online]. 2010, 59(6), 2795-2805 [cit. 2019-08-24]. DOI: 10.1109/TVT.2010.2049756. ISSN 0018-9545. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5460952/>
- [51] Airport Traffic Sensor System: Type ISA. <http://honeywellairports.com/> [online]. Honeywell International, 2016 [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: http://honeywellairports.com/documents/9Sep16/Sensor-Loop_Product_Brochure_EN_HAB-123456_10.05.2016.pdf
- [52] MARSZALEK, Zbigniew, Tadeusz ZEGLEN, Ryszard SROKA a Janusz GAJDA. Inductive Loop Axle Detector based on Resistance and Reactance Vehicle Magnetic Profiles. Sensors

[online]. 2018, 18(7) [cit. 2019-08-24]. DOI: 10.3390/s18072376. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1424-8220/18/7/2376>

[53] DIMITROPOULOUS, Kosmas, Grammalidis NIKOS, I. GRAGOPOULOS a Haibin GAO. Detection, Tracking and Classification of Vehicles and Aircraft based on Magnetic Sensing Technology [online]. leden 2006 [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/242600804_Detection_Tracking_and_Classification_of_Vehicles_and_Aircraft_based_on_Magnetic_Sensing_Technology

[54] GAO, Haibin, Michael WEINMANN, Grammalidis NIKOS a Constanze STOCKHAMMER. ISMAEL - Intelligent Surveillance and Management for Airfield Applications Based on Low Cost Magnetic Field Detectors [online]. Joint International Symposium on Sensors and Systems for Airport Surveillance, Paris, France, červen 2005 [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/311065646_ISMAEL_-_Intelligent_Surveillance_and_Management_for_Airfield_Applications_Based_on_Low_Cost_Magnetic_Field_Detectors

[55] Intelligent Surveillance and Management Functions for Airfield Applications Based on Low Cost Magnetic Field Detectors. TRIMIS: Transport Research and Innovation Monitoring and Information System [online]. [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: <https://trimis.ec.europa.eu/project/intelligent-surveillance-and-management-functions-airfield-applications-based-low-cost>

[56] HARTMANN, Uwe. Intelligent Surveillance and Management Functions for Airfield Applications Based on Low Cost Magnetic Field Detectors: Final publishable Project Summary [online]. Saarland University, 2007 [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: <https://1url.cz/VMSbO>

[57] Bezpečnostní optické závory. ElektroPrůmysl [online]. 2011, 10. duben 2011 [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: <http://www.elektroprumysl.cz/automatizace/bezpecnostni-opticke-zavory>

[58] Rozdelenie optoelektrických snímačov. Senzortech [online]. [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: <http://senzortech.sk/neo/tree.php?stranka=eshop2info>

[59] Sicherheitslichtgitter und Sicherheitsschalter: Sicherheitslichtgitter SF4D. In: Panasonic [online]. [cit. 2019-08-25]. Dostupné z: <https://www.panasonic-electric-works.com/de/sicherheitslichtgitter-sicherheitsschalter.htm>

[60] VOJÁČEK, Antonín. Bezpečnost strojů realizovaná světelnými závory. Automatizace.hw.cz [online]. 29. květen 2014 [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju/bezpecnost-stroju-a-zarizeni-realizovana-svetelnymi-zavesy>

- [61] LiDAR vs. Cameras for Self Driving Cars – What’s Best?. Autopilot Review [online]. [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: <https://www.autopilotreview.com/lidar-vs-cameras-self-driving-cars/>
- [62] Advantages and Disadvantages of LiDAR. LIDAR and RADAR Information: Know the LIDAR and RADAR [online]. 19. leden 2018 [cit. 2019-08-25]. Dostupné z: <http://lidarradar.com/info/advantages-and-disadvantages-of-lidar>
- [63] GALATI, Gaspare, Emilio G. PIRACCI a Mauro FERRI. High resolution, millimeter-wave radar applications to airport safety. In: 2016 8th International Conference on Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals (UWBUSIS) [online]. IEEE, 2016, 2016, s. 21-26 [cit. 2019-08-24]. DOI: 10.1109/UWBUSIS.2016.7724144. ISBN 978-1-5090-1579-5. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7724144/>
- [64] Millimeter-wave Radar Technology: Protects the Safety of Intersections with a Broader Field-of-view and in Greater Detail. Panasonic [online]. [cit. 2019-08-25]. Dostupné z: <https://www.panasonic.com/global/corporate/technology-design/technology/radar.html>
- [65] BELAIDI, Hadjira, Hamid BENTARZI, Abderrahmane BELAIDI a Abdelfetah HENTOUT. Terrain Traversability and Optimal Path Planning in 3D Uneven Environment for an Autonomous Mobile Robot. Arabian Journal for Science and Engineering [online]. 2014, 39(11), 8371-8381 [cit. 2019-08-24]. DOI: 10.1007/s13369-014-1352-8. ISSN 1319-8025. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s13369-014-1352-8>
- [66] GALATI, Gaspare, Emilio G. PIRACCI a Mauro FERRI. High resolution, millimeter-wave radar applications to airport safety. In: 2016 8th International Conference on Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals (UWBUSIS) [online]. IEEE, 2016, 2016, s. 21-26 [cit. 2019-08-24]. DOI: 10.1109/UWBUSIS.2016.7724144. ISBN 978-1-5090-1579-5. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7724144/>
- [67] ADS-B: Frequently Asked Questions (FAQs). Federal Aviation Administration [online]. [cit. 2019-08-25]. Dostupné z: <https://www.faa.gov/nextgen/programs/adsb/faq/>
- [68] Sensors for Safety Applications: Product Overview. Pepperl+Fuchs [online]. [cit. 2019-08-25]. Dostupné z: https://files.pepperl-fuchs.com/webcat/navi/productInfo/doct/tdoct5457a_eng.pdf?v=26-APR-18
- [69] EUROCONTROL Specification for Advanced-Surface Movement Guidance and Control System (A-SMGCS) Services [online]. EUROCONTROL, 1. března 2018 [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/single-sky/specifications/edsp_17_003_spec_asmgcs_v1.0.pdf

- [70] Airport safety and efficiency under all conditions. SAAB [online]. [cit. 2019-08-25]. Dostupné z: <https://saab.com/security/air-traffic-management/air-traffic-control-automation/a-smgcs/>
- [71] Advanced Surface Movement Guidance and Control System A-SMGCS. Honeywell [online]. [cit. 2019-08-25]. Dostupné z: <http://honeywellairports.com/RU/documents/brochures/ASMGCS.pdf>
- [72] Advanced Surface Movement Guidance and Control Systems (A-SMGCS) Manual. ICAO, 2004. Dostupné také z: https://www.icao.int/Meetings/anconf12/Document%20Archive/9830_cons_en%5B1%5D.pdf
- [73] EUROCONTROL Specification for Advanced-Surface Movement Guidance and Control System (A-SMGCS) Services [online]. EUROCONTROL, 1. březen 2018 [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/single-sky/specifications/edsp_17_003_spec_asmgcs_v1.0.pdf
- [74] Advanced Surface Movement Guidance and Control System (A-SMGCS). SKYbrary [online]. [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: [https://www.skybrary.aero/index.php/Advanced_Surface_Movement_Guidance_and_Control_System_\(A-SMGCS\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Advanced_Surface_Movement_Guidance_and_Control_System_(A-SMGCS))
- [75] Safedock A-VDGS and SafeControl Apron Management [online]. [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: https://thorindo.com/wp-content/uploads/2018/07/brochure-safedock-a-vdgs-and-safecontrol-apron-management_CombineSmall.pdf
- [76] MLAT: Surface Surveillance. ERA a.s. [online]. [cit. 2019-08-25]. Dostupné z: <https://www.era.aero/en/technology/mlat>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Možné konflikty letadel na pojezdových drahách [2]	4
Obrázek 2: Část letiště kategorie 4F navržená pro modelovou situaci	11
Obrázek 3: Pozice Airbusu A321 NEO při zastavení na vyčkávacím místě dráhy	12
Obrázek 4: Průjezd letadla kategorie C (Boeing 737 MAX 8)	13
Obrázek 5: Průjezd letadla kategorie D (Boeing 767-400ER)	14
Obrázek 6: Průjezd letadla kategorie E (Boeing 777-300ER)	15
Obrázek 7: Průjezd letadla kategorie F (Airbus A380-800)	16
Obrázek 8: Princip fungování multilaterace [34]	22
Obrázek 9: Princip fungování indukční smyčky (silniční doprava) [50]	25
Obrázek 10: Využití v letištní praxi [52]	26
Obrázek 11: Princip fungování optoelektronické závory [59]	29
Obrázek 12: Optoelektronický závěs [60]	29
Obrázek 13: Vytvořené detekční zóny C až F	39

Seznam tabulek

Tabulka 1: Vzdálenosti vyčkávacích míst od os pojezdových drah na vybraných evropských letištích	9
--	---