



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Vojtěch Ocelík

**Optimalizace systému monitorování kondenzačních
stop**

Bakalářská práce

2017

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

d ě k a n

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K621..... Ústav letecké dopravy

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Vojtěch Ocelík

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – PIL – Profesionální pilot

Název tématu (česky): **Optimalizace systému monitorování kondenzačních stop**

Název tématu (anglicky): The Optimization of the Condensation Trail Monitoring System

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Kondenzační stopy, jejich popis a klasifikace
- Popis systému monitorování kondenzačních stop
- Nedostatky systému monitorování kondenzačních stop
- Návrhy pro optimalizaci systému



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: ICAO: Annex 3
FAA US: Contrail Microphysics
ICAO: Aviation' s contribution to climate change

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Bc. Jakub Hospodka, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **28. října 2016**
(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: **28. srpna 2017**
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. Stanislav Szabo, PhD. MBA
vedoucí
Ústavu letecké dopravy



.....
prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

.....
Vojtěch Ocelík
jméno a podpis studenta

V Praze dne 28. října 2016

Poděkování

Především bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Bc. Jakobovi Hospodkovi, Ph.D. za všechny čas, který mi věnoval. Moc si cením všech jeho cenných rad a konzultací, které mi poskytnul. Také mu vděčím za všechny poskytnuté zdroje. Dále bych rád poděkoval Daně Tyčové za kontrolu bakalářské práce a za všechny její rady. Nakonec bych rád poděkoval mým rodičům a všem blízkým za morální a materiální podporu v průběhu celého studia.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Nemám závažný důvod proti užívání 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).

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

V Praze dne 17. Srpna 2017


.....

podpis

Abstrakt

Bakalářská práce *Optimalizace systému monitorování kondenzačních stop* se zabývá systémem měření kondenzačních stop na pracovišti Děčín ČVUT Fakulty dopravní v Praze. Teoretická část této práce je zaměřena na popsání kondenzačních stop a jejich vlivů na atmosféru. V této části práce je také popsán měřicí systém kondenzačních stop v Děčíně a rozebrány jsou i jeho nedostatky. Praktická část bakalářské práce popisuje postup optimalizace systému monitorování kondenzačních stop, všechny provedené změny, závěrečný stav systému a porovnání výkonnosti systému před a po změnách.

Klíčová slova

Kondenzační stopa, cirrus, atmosféra, aerosoly, indukovaná oblačnost, ADS-B, Free Route Airspace, radiální působení.

Abstract

The bachelor's thesis *The optimization of the condensation trail monitoring system* concerns a condensation trail monitoring system, which is located in the department Děčín of ČVUT Faculty of Transportation Sciences in Prague. The theoretical part of the thesis focuses on condensation trails and their influence on the atmosphere. It also analyses the monitoring system of condensation trails in Děčín and its flaws. The practical part of this thesis explains the process of optimization, describes the final state of the system and shows a comparison of the system before and after, when the optimisation has been achieved.

Key words

Condensation trails, cirrus, atmosphere, aerosols, induced cloudiness, ADS-B, Free Route Airspace, radiative forcing.

Obsah

Obsah.....	4
Seznam zkratk.....	6
Úvod.....	7
1 Kondenzační stopy: popis a klasifikace.....	9
1.1 Popis kondenzačních stop.....	9
1.2 Rozdělení.....	9
1.3 Proces vzniku.....	10
1.4 Přirozený a umělý cirrus.....	11
2 Vlivy kondenzačních stop na atmosféru.....	12
2.1 Vlivy na atmosféru.....	12
2.2 Kondenzační stopy a indukovaný cirrus.....	12
2.3 Omezování negativních vlivů na klima.....	14
3 Popis systému monitorování kondenzačních stop.....	16
3.1 Obecné informace o systému.....	16
3.2 Popis fungování systému.....	16
4 Nedostatky systému monitorování kondenzačních stop.....	18
4.1 Zdroje nedostatků systému.....	18
4.2 Komplikace způsobené letadly.....	18
4.3 Komplikace způsobené atmosférou.....	19
4.4 Komplikace způsobené systémem.....	20
4.5 Budoucí komplikace.....	21
5 Návrhy pro optimalizaci systému.....	23
5.1 Optimalizace.....	23
5.2 Provoz v oblasti Děčína.....	23
5.3 Původní nastavení kamer.....	25
5.4 Hlavní změny.....	29
5.5 Dodatečné změny.....	30
5.6 Úpravy prostoru sběru dat.....	31
5.7 Časové omezení kamer.....	36
6 Stav systému po optimalizaci.....	39
6.1 Stávající stav kamer.....	39
6.2 Srovnávací měření.....	39
6.3 Shrnutí optimalizace.....	40

Závěr.....	42
Použité zdroje.....	44
Seznam obrázků.....	46
Seznam tabulek.....	47

Seznam použitých zkratk

IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change Mezivládní panel pro změny klimatu
RF	Radiative Forcing Radiační působení
AIC	Artificially Induced Cloudiness Uměle indukovaná oblačnost
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance Broadcast
ÚLD	Ústav Letecké Dopravy
ICAO	International Civil Aviation Organisation Mezinárodní organizace pro civilní letectví
ATS	Air Traffic Service Letové provozní služby
FRA	Free Route Airspace
AIP	Aeronautical Information Publication Letecká informační příručka
UTC	Universal Time Coordinated Koordinovaný světový čas

ÚVOD

Kondenzační stopy jsou jedním z mála pozorovatelných vlivů leteckého provozu na atmosféru. Jedná se o uměle vytvořenou oblačnost, která se vytváří za motory letadel.

Kondenzační stopy jsou čárového tvaru a objevují se ve vyšších letových hladinách. Jelikož jsou závislé na okolní teplotě a vlhkosti, netvoří se za všech podmínek. V závislosti na atmosférických podmínkách se také liší v rámci vlastností a vzhledu.

Kondenzační stopy se tvoří za motory letadel, které do vzduchu vypouští horkou vodní páru a aerosoly. Vodní pára expanduje, ochlazuje se, a tím dodává okolnímu vzduchu dostatečnou vlhkost, aby na aerosolech začaly kondenzovat kapičky vody. Ty se díky nízké okolní teplotě vzduchu přemění v krystalky ledu, které tvoří ze země viditelnou část kondenzační stopy.

Letadla vypouští do atmosféry značné množství sazí, aerosolů, oxidů, vodní páry a dalších látek a tím mění její kompozici a současně působí na klima. Negativní vliv na atmosféru mohou mít i vznikající kondenzační stopy z důvodu možného přispívání k oteplování atmosféry. Kondenzační stopy přímo zvyšují množství oblačnosti v atmosféře, což vede k pozitivnímu radiačnímu působení. Krystalky ledu působí jako zrcadlo na krátkovlnné záření z vesmíru a odrážejí ho zpět do kosmu. Zároveň také zachytávají dlouhovlnné záření odcházející ze země. Kondenzační stopy se dále mohou vlivem turbulence a větru rozprostřít a vytvořit umělý cirrus. Tato uměle indukovaná oblačnost je od přirozené cirrovité oblačnosti těžce rozeznatelná. Letadla také mohou přispívat k tvorbě umělé oblačnosti pouhým dodáním aerosolů z výfukových plynů. Vypuštěné aerosoly mohou posloužit jako nukleační jádra pro vodní páru v místech, kde by se oblačnost sama nezačala tvořit.

Tato bakalářská práce se zabývá systémem měření kondenzačních stop ČVUT Fakulty dopravní. Tento systém je založen na principu nahrávání záznamů oblohy a ukládání dostupných dat o letadlech, které proletí předem definovaným prostorem. Obloha je nahrávána třemi kamerami, které jsou umístěny na střeše pracoviště ČVUT Fakulty dopravní v Děčíně. Data o letadlech jsou získávána ze systému ADS-B díky přijímačům umístěným v Praze. Dekódované zprávy ADS-B se dají porovnávat s uloženými vizuálními záběry letadel a kondenzačních stop. Tento měřicí systém má několik nedostatků. Část systému umístěná v Děčíně je silně závislá na meteorologické situaci, která je málokdy ideální.

Systém je také závislý na trasách letadel prolétávajících oblastí kolem Děčína. To znamená, že se kamery musí přednastavit na specifická místa, kterými letadla prolétávají. Řešení tohoto problému se stalo cílem mojí bakalářské práce. Kamery měřicího systému byly namířeny na místa, kde byl předpokládán největší provoz letadel. Nebylo však přesně jasné, které oblasti jsou doopravdy zabírány. Dále nebylo jasné, zda se záběry kamer dostatečně překrývají

s prostorem sběru dat ze systému ADS-B. Cílem této bakalářské práce je zjistit, jaký prostor je zabírán kamerami a jak moc se tento prostor překrývá s prostorem sběru dat. Zjištěná data budou analyzována a pokud bude třeba, budou navržena a aplikována alternativní řešení, aby záběry z kamer byly co nejpřínosnější pro budoucí studium kondenzačních stop.

1 KONDENZAČNÍ STOPY: POPIS A KLASIFIKACE

1.1 Popis kondenzačních stop

Kondenzační stopa je uměle vytvořený oblak s čárovým tvarem, který se vytváří za motory letadel. Po čase se vnějšími vlivy může přeměnit na cirrus, nebo se rozptýlí. K vytvoření kondenzační stopy musí být splněny určité podmínky, které jsou spojené převážně s teplotou a relativní vlhkostí. Kondenzační stopy se vytváří ve vyšších částech troposféry, kde jsou teploty nižší než -40°C ¹. Jsou tvořeny z ledových krystalů, které se vytvoří na aerosolech uvolněných během spalovacího procesu motoru. Vlastnosti kondenzačních stop jsou závislé na podmínkách okolní atmosféry, které mohou být proměnlivé. Z tohoto důvodu mohou stopy rychle měnit své vlastnosti během krátkých intervalů v závislosti na okolní atmosféře. Tudiž se v těsné blízkosti mohou vyskytovat stopy různých tvarů, velikostí a vlastností. Velikost kondenzačních stop je také závislá na množství spáleného paliva. Z tohoto plyne, že letadla s motory s větší spotřebou, stejně jako vícemotorová letadla, budou produkovat výraznější kondenzační stopy.

1.2 Rozdělení

Kondenzační stopy se dají klasifikovat podle jejich procesu vzniku, nebo dle jejich životnosti. První nejzákladnější dělení je dle procesu jejich tvorby:

- Výfukové kondenzační stopy
- Aerodynamické kondenzační stopy

Aerodynamické kondenzační stopy vznikají kondenzací kapek vody při snížení tlaku nad křídlem, nebo ve vírech na konci křídel. Objevují se, když je vlhko a letadlo letí pomalu, nejčastěji při vzletu a přistání. Jedná se pouze o vodní kapky, nikoliv částičky ledu. Tato práce se dále bude zabývat pouze výfukovými kondenzačními stopami. Další typ dělení je podle jejich životnosti, která může být v rozmezí několika sekund až několika hodin:

- Kondenzační stopy s delší dobou životnosti
- Kondenzační stopy s kratší dobou životnosti

Kondenzační stopy mají krátkou životnost, když je vzduch vlhký, ale nemá dostatečnou relativní vlhkost na to, aby vytvořené ledové krystaly vydržely v ledovém stavu po delší dobu.

K tomu, aby kondenzační stopa vydržela delší dobu, je potřebné, aby okolní vzduch byl supersaturován vůči ledu. V supersaturovaném vzduchu krystalky naopak rostou, protože na nich kondenzuje a mrzne vzdušná pára a stopy tudíž vydrží v atmosféře po delší dobu ².

1.3 Proces vzniku

Ke vzniku výfukových kondenzačních stop je potřeba spalovací motor. Hlavní podmínkou pro vznik kondenzační stopy je, aby motor vypouštěl do atmosféry vodní páru a aerosoly. Tyto podmínky splňují motory, ve kterých dochází ke spalování směsi paliva na uhlíkové bázi spolu s kyslíkem. Nezáleží tedy na tom, zda-li se jedná o motor proudový, turbovrtulový, či pístový. Dále je zapotřebí, aby teplota okolní atmosféry byla velmi nízká, alespoň kolem -40°C ¹. Poslední nutnou podmínkou je, aby atmosféra v daném místě měla dostatečnou relativní vlhkost. Při 100% vlhkosti se kondenzační stopy mohou tvořit mezi 8-19 km výšky. Při 0% vlhkosti se mohou tvořit pouze v rozmezí 10-12 km výšky ². Pro jejich delší trvání je však potřeba, aby atmosféra byla supersaturovaná. Tvorba kondenzačních stop je popsána Schmidt-Applemanovým kritériem. Jedná se o rovnici, která je funkcí atmosférické teploty a tlaku, energetického potenciálu paliva, množství vypuštěné vodní páry a celkové propulsní účinnosti letadla ¹.

Při spalování leteckých paliv se uvolňuje mnoho látek. Převážně se jedná o vodní páru, oxid uhličitý a aerosoly. Pro vznik kondenzační stopy jsou nejdůležitější vodní pára a aerosoly. Aerosoly, které nejvíce přispívají k formaci stop, jsou částičky sazí, protože slouží jako dobrá nukleační jádra pro vodu. Přehřátá směs plynů a aerosolů se z motoru dostává do velmi studeného, suchého vzduchu, kde směs okamžitě expanduje a velice rychle se ochladí. Zároveň svojí přítomností zvýší relativní vlhkost vzduchu do nasycení a dojde ke kondenzaci na aerosolech uvolněných při procesu spalování. Tyto kapky vody působením nízké teploty zmrznou a vytvoří se kondenzační pás. V případě, že je vzduch již supersaturován vzhledem k ledu, čili má dostatečnou relativní vlhkost, dodá vypuštěná směs z motorů pouze aerosoly pro následnou tvorbu krystalů ledu. Celý tento proces trvá určitou dobu, proto kondenzační stopa nikdy nezačíná přímo u motoru, ale až o pár sekund za ním.

V případě že průlet letadla nevyvolá vznik kondenzační stopy, vypuštěné aerosoly zůstávají v atmosféře a mohou se podílet na jiných procesech. Dodáním nukleačních jader mohou způsobit například tvorbu cirrovité oblačnosti. Rozlišit takto vytvořený cirrus od přirozeného je prakticky nemožné. Aerosoly se nejspíše podílejí i na tvorbě většího množství vodních kapiček vůči přirozené oblačnosti a předpokládá se, že mají vliv také na rychlejší a dřívější vývin srážek ². Tyto úvahy jsou však těžko v praxi prokazatelné. Přestože přesné účinky aerosolů z leteckých motorů na atmosféru nejsou známy, je zřejmé, že aerosoly z

letadlových motorů ovlivňují strukturu a vlastnosti oblačnosti a svou přítomností v atmosféře se mohou nepřímo podílet na tvorbě oblačnosti.

1.4 Přirozený a umělý cirrus

Cirrus se řadí mezi vysokou oblačnost a vyskytuje se převážně ve výškách od 5 km až do 13,7 km³. Má vzhled jemných bílých vláken, které tvoří úzké pruhy, chomáče, nebo jejich kombinace. Skládá se výhradně z ledových krystalků, takže z cirrovité oblačnosti nevypadávají srážky. Také v ní nemůže docházet k namrzání nebo turbulenci a nepřestavuje tak nebezpečí pro letadla. Cirrus má malou optickou tloušťku, tudíž na zem nevrhá stín². Bývá obvykle spojován s příchodem teplé fronty. Cirrus přirozeně vzniká kondenzací vody na aerosolech ve velkých výškách, kde voda zmrzne a vytvoří ledové krystaly. Může však vznikat i uměle, od přirozené oblačnosti je ale většinou vizuálně k nerozeznání. Uměle vytvořený cirrus se ve většině případů liší menší velikostí ledových krystalků². Jedním způsobem umělé tvorby je přeměna dlouhotrvajících kondenzačních stop vlivem turbulence a větru, kdy dojde k rozprostření částic kondenzační stopy. Detailní sledování této změny je však těžko proveditelné a neumožňuje ji plně pochopit. Druhou možností umělé tvorby je samotné dodání nukleačních jader ve formě aerosolů vytvořených při spalování paliva letadlem. V tomto případě není nutné, aby došlo ke vzniku kondenzační stopy. Tento proces je však také těžko sledovatelný.

2 VLIVY KONDENZAČNÍCH STOP NA ATMOSFÉRU

2.1 Vlivy na atmosféru

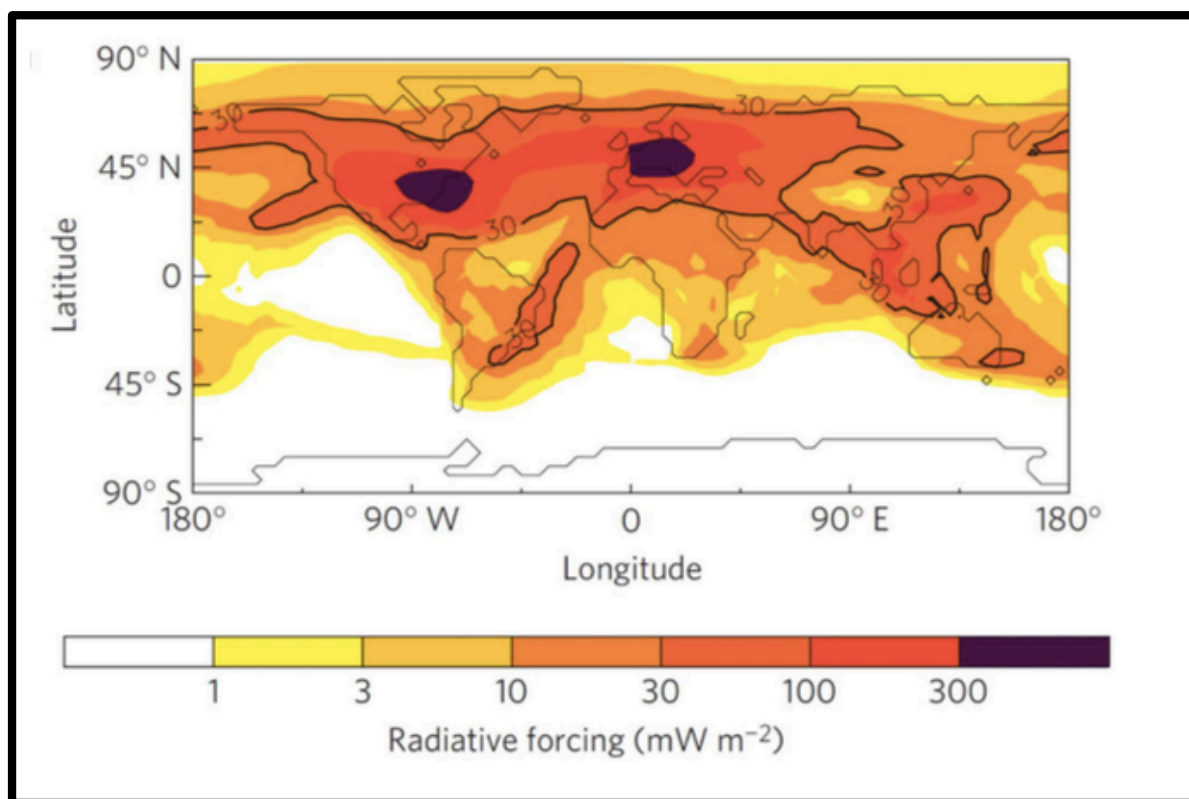
Kondenzační stopy jsou jedny z nejvíce viditelných vlivů letecké dopravy na atmosféru. Naneštěstí je provoz letecké dopravy v dnešní době stále závislý na spalování fosilních paliv. V kombinaci s růstem letecké dopravy to znamená, že je do atmosféry vypouštěno značné množství sazí a jiných aerosolů, oxidů síry, vodní páry a dalších nepřírodních látek. Tyto emise způsobují, že průlet letadla mění kompozici atmosféry v daném místě a to ovlivňuje klima země. Základní vlivy letectví na změnu klimatu země byly popsány ve zprávě IPCC již z roku 1999⁴. Z této zprávy plyne, že hlavním problémem je samotná tvorba kondenzačních stop, která zvětšuje množství oblačnosti. Kondenzační stopy navíc nemusí udržet svůj tvar, ale mohou se rozprostřít, nebo také ovlivnit vlastnosti již existujících oblak. Odhaduje se, že tyto procesy mají za následek pozitivní radiační působení (RF), které přispívá k oteplování zemského povrchu. RF lze popsat jako veličinu popisující změny radiační bilance na zemi. Používá se ve vztahu k vlivům, které radiační bilanci nějakým způsobem pozměňují. Pokud je RF pozitivní, působí směrem k oteplování atmosféry, pokud je negativní, způsobuje ochlazování. Pozitivní radiační působení kondenzačních stop a umělé cirrovité oblačnosti je způsobeno tím, že kondenzační stopy i cirrus se skládají z ledových krystalků. Krystalky ledu působí jako zrcadlo na krátkovlnné záření z vesmíru a odrážejí ho zpět do kosmu. Zároveň také zachytávají dlouhovlnné záření odcházející ze země.

Dalším nezanedbatelným vlivem na atmosféru jsou také vlivy aerosolů. Tyto vlivy mohou být záporné i kladné, podle jejich interakcí s atmosférou a již existující oblačností. Aerosoly mají vliv na množství, tvar, velikost a rozložení vodních kapek v oblacích. Dokonce svou přítomností mohou dodat nukleační jádra pro tvorbu zcela nové oblačnosti. Pravděpodobně také mohou způsobovat dřívější kondenzaci srážek².

2.2 Kondenzační stopy a indukovaný cirrus

Kondenzační stopy a cirrovitá oblačnost způsobená přeměnou z kondenzačních stop mohou za podstatnou část vlivu letectví na atmosféru a klima země. Během přeměny kondenzační stopy na cirrus se stopa může rozprostřít na velkou plochu, až 100 000 km²⁵. Kondenzační stopy a umělá cirrovitá oblačnost se souhrnně nazývají *aviation induced cloudiness* (AIC)⁵. Určovat zároveň vlivy kondenzačních stop i vlivy umělé cirrovité oblačnosti je kvůli jejich rozdílným vlastnostem složité. Z toho důvodu se RF pro kondenzační stopy a indukovaný cirrus určuje zvlášť. Určování RF pro uměle vytvořenou cirrovitou oblačnost je složitější,

jelikož se od přirozené cirrovité oblačnosti téměř neliší. Přesto tvoří nezanedbatelnou část AIC. Tato část AIC představuje větší problém, než samotné kondenzační stopy, které se dají mnohem lépe namodelovat díky jejich specifickému vzezření. Globální RF z dlouhotrvajících kondenzačních stop se dle předpokladů pohybuje kolem hodnoty $0,012 \text{ Wm}^{-2}$. Globální RF veškeré AIC je předpokládáno v rozmezí $0,013 - 0,087 \text{ Wm}^{-2}$. Hodnota není přesná, jelikož záleží na mnoha faktorech, mezi které patří plocha zabraná AIC, optická tloušťka, rozdělení vlhkosti ve vyšší troposféře, tvary ledových krystalků, jejich distribuce a další. V porovnání s přirozenou oblačností zabírá AIC relativně malou plochu, avšak její vliv by se neměl zanedbávat. Přestože průměrná celosvětová hodnota RF je velmi nízká, lokální hodnoty mohou být mnohem výraznější ve frekventovaných oblastech, například v Evropě a ve Spojených Státech Amerických. Naopak mohou být zanedbatelné v oblastech bez, nebo s minimální leteckou dopravou (Obrázek č.1).



Obrázek č.1 Celosvětová distribuce RF způsobená leteckou dopravou z roku 2002 ⁷

Kondenzační stopy i umělá cirrovitá oblačnost se skládají z nekulových ledových krystalů. Ty mají tvary podobné krystalům přirozené cirrovité oblačnosti, ale liší se procentuální distribucí jednotlivých tvarů. Jejich radiační vlastnosti záleží na tvaru krystalů a optické tloušťce, která se s tvarem krystalů a jejich distribucí mění ⁶.

RF kondenzačních stop a umělé cirrovité oblačnosti je dále ovlivňováno úhlem slunečního zenitu a albedem, které je závislé na optické tloušťce. Pokud se kondenzační stopa vytvoří nad vysoce reflektivním podkladem, kterým může být sníh nebo oblak s velkou optickou šířkou, celkové albedo se zvýší pouze zanedbatelně. Pokud se však vytvoří nad tmavým podkladem, kterým může být voda nebo les, albedo značně vzroste. Radiační vlastnosti s ohledem na odrazivost dlouhovlnného záření jsou ovlivněny také teplotou kondenzační stopy a teplotou jejího okolí. Pokud se tedy stopa vytvoří nad vysokým mrakem nebo studeným podkladem, bude mít minimální vliv na odcházející dlouhovlnné záření. Naopak redukce odcházejícího záření nastane nad teplým podkladem, nebo nízkým mrakem. Z toho plyne, že pokud se kondenzační stopa nachází v mraku s větší optickou tloušťkou, nemá téměř žádný vliv na RF. Pokud se však vytvoří například nad teplejším oceánem, bude mít vliv na všechny vlnové délky ⁶. Kondenzační stopy mají větší vliv na odcházející dlouhovlnné záření než na přicházející krátkovlnné záření. Z toho se dá vyvodit, že kondenzační stopy mohou mít negativní RF pouze ve dne za určitých podmínek, kdy mají dostatečnou optickou tloušťku a jsou nad povrchem s malou odrazivostí ².

2.3 Omezování negativních vlivů na klima

Výpočty globálního RF způsobeného leteckou dopravou jsou doposud značně nespolehlivé. Při výpočtech se počítá pouze s odhady nezávislých hodnot, proto je nejistota vysoká a kvůli zmíněné nepřesnosti je tedy těžké porovnávat vliv letectví na změny klimatu s vlivy ostatních sektorů. Výjimku tvoří emise CO₂, jejichž působení na RF je určeno s dostatečnou přesností pro porovnávání dle IPCC ⁷. Měření efektů AIC na klima může být prováděno několika způsoby. Mezi používané způsoby patří pozemní měřicí stanice, satelitní sledování, měření z letadla, nebo matematické modely⁷. V zájmu zlepšení odhadu radiačního působení kondenzačních stop a umělé cirrovité oblačnosti je potřeba důkladněji popsat jejich základní optické vlastnosti, velikosti a tvary krystalů, chemické vlastnosti, lépe odhadovat plochu zabranou AIC a radiační vlastnosti. Následně je třeba získané chemické a fyzikální vlastnosti propojit s meteorologickými modely, abychom dokázali reálně simulovat a předpovídat dopady AIC na klima země. Mezi možné způsoby snížení RF letecké dopravy patří úpravy řízení letového provozu, úpravy emisí motorů, či alternativní paliva. První způsob, úpravy řízení letového provozu, by vyžadoval trasování letadel vzhledem k meteorologické situaci. Letadla by byla řízena tak, aby se co nejvíce vyhýbala oblastem tvorby dlouhotrvajících kondenzačních stop a oblastem s velkou klimatickou zátěží. Důsledkem změn tras by vzrostla spotřeba a s ní by opět vzrostla klimatická zátěž. Proto by se musela najít rovnováha mezi zvýšeným spalováním paliva a snížením tvorby kondenzačních stop. Změny tras letadel by mohly být horizontální, vertikální, nebo kombinované. Horizontální změny tras, při

kterých by se oblastem supersaturovaným vůči ledu vyhýbalo v horizontální rovině, by však vyžadovaly mnohem větší spotřebu paliva a jakékoliv snížení RF by se tím narušilo. Druhým možným řešením jsou vertikální úpravy trasy, během kterých by letadlo sklesalo či vystoupalo mimo nežádané oblasti. Tento způsob by mohl být efektivnější, jelikož supersaturované oblasti vůči ledu jsou většinou ve vertikálně úzkých vrstvách⁷. Třetím možným řešením jsou kombinované úpravy tras, které by využívaly kombinaci horizontálních a vertikálních úprav. Bylo by to nejefektivnější, ale zároveň nejsložitější řešení. Všechny tyto tři postupy by však vyžadovaly přesné zmapování oblastí supersaturovaných vůči ledu, aby se větší spotřeba paliva vyplatila. To by vyžadovalo buď přesnější meteorologické sledování a mapování těchto oblastí, nebo identifikaci oblastí tvorby dlouhotrvajících kondenzačních stop samotnými letadly.

Dalším způsobem snížení RF jsou alternativní paliva a úprava emisí. Tato možnost prozatím není smysluplně realizovatelná. Alternativní paliva sice redukuje množství vypuštěného CO₂, ale naopak zvyšují množství vypuštěných aerosolů a vodní páry, což znamená více materiálu pro další tvorbu kondenzačních stop a zvyšování RF. Kondenzační stopy za motory s různou spotřebou mají různou hustotu částic. Z toho se dá logicky usuzovat, že letadla s větší spotřebou mají větší vliv na atmosféru. Jejich výhodou je ale větší přepravní kapacita. Když se spotřeba převede na jednoho pasažéra, dojdeme k závěru, že vliv na atmosféru je stejný, ne-li menší².

Výše zmíněná možná řešení je v této době těžké aplikovat. Hlavním důvodem je nedostatečné porozumění fyzikálním a chemickým vlastnostem AIC a procesům spojených s jejich tvorbou. Kvůli předčasné snaze vyřešit problémy způsobené leteckou dopravou bychom mohli klima zatížit novými problémy, které by mohly mít větší dopad než zátěž od indukované oblačnosti.

3 POPIS SYSTÉMU MONITOROVÁNÍ KONDENZAČNÍCH STOP

3.1 Obecné informace o systému

Systém monitorování kondenzačních stop se nachází na pracovišti Fakulty dopravní ČVUT v Děčíně. Systém se skládá z kamer, které snímají oblohu v blízkosti Děčína. Jelikož se záběry z kamer ukládají, je možné je sledovat živě, ale také zpětně. Tato část systému poskytuje vizuální informace o kondenzačních stopách. Aby však vizuální informace byla použitelná, je třeba mít k ní odpovídající informace o letadle, které ji vytvořilo. Tyto informace se získávají ze systému ADS-B a jsou ukládány. Informace z ADS-B tvoří druhou část systému měření kondenzačních stop, která nám poskytuje bližší informace o jednotlivých letadlech. Obě tyto části systému dohromady tvoří záznam o tom, které letadlo, v jakou dobu a v které výšce vytvořilo jakou kondenzační stopu.

3.2 Popis fungování systému

Na střeše pracoviště Fakulty dopravní v Děčíně jsou umístěny tři kamery. Tyto tři kamery jsou namířeny na oblohu za účelem monitorování co největšího počtu letadel. Všechny tři kamery jsou nastavitelné nezávisle na sobě. Je možné manipulovat s jejich směrovým nastavením okolo společné osy a také s jejich výškovým úhlem. To umožňuje nastavit kamery na místa, kde je největší potenciál pro sledování kondenzačních stop v okolí Děčína. Souřadnice kamer jsou 50,77899 severní šířky a 14,21602 východní délky. Záběry z kamer se ukládají za účelem zpětného vyhledávání a párování s daty o letadlech. Podmínky pro sledování kondenzačních stop nejsou vždy ideální. Vizuální informace jsou přímo závislé na počasí, které není ovlivnitelné. Pokud je větší množství oblačnosti, nebo špatná dohlednost, nejsou kondenzační stopy na záběru vidět. Atmosférické podmínky mohou také způsobit, že se kondenzační stopy vůbec nevytvoří. Tyto problémy jsou částečně vyřešeny uloženými záběry. Z uložených záběrů je možné vybírat pouze ty dny, které jsou ideální pro sledování kondenzačních stop a vyhýbat se nepoužitelným dnům. Kolem Děčína je vymezený prostor, ze kterého se sbírají data o letadlech. Tento prostor je detailněji popsán v kapitole č.5. Data o letadlech jsou ukládána ze systému ADS-B. Zprávy systému ADS-B jsou sbírány skrze přijímače ÚLD, které jsou umístěny v Praze na Strahově a na Pankráci na budově City Tower. Systém ADS-B je kooperativní přehledový systém využívající družicové navigace. Letadla vysílají zprávy o své poloze, kterou získávají přes družicovou navigaci. Tyto zprávy jsou zaznamenávány pozemními přijímači a přijímači letadel, která jsou k tomu vybavená. Letadla jsou schopna si z přijímaných dat vytvořit komplexní přehled o provozu v jejich

blízkosti a snížit tak riziko kolize. Zprávy vysílané letadly se podobají zprávám odpovídače sekundárního radaru v módu S. Skládají ze 112bitů, jejichž rozdělení lze vidět na obrázku č.2.

nBits	Bits	Abbr.	Name
5	1 - 5	DF	Downlink Format (17)
3	6 - 8	CA	Capability (additional identifier)
24	9- 32	ICAO	ICAO aircraft address
56	33 - 88	DATA	Data
	[33 - 37]	[TC]	Type code
24	89 - 112	PI	Parity/Interrogator ID

Obrázek č.2 – Složení ADS-B zprávy

Zdroj: <https://adsb-decode-guide.readthedocs.io/en/latest/>

Přijímače ÚLD mají dosah přibližně 150 NM. Děčín je od Prahy vzdálen asi 44 NM, tudíž je jeho okolí dostatečně pokryto. Přijímače každý den zachytí obrovské množství dat, ze kterého jsou skrze MATLAB vyfiltrována a uložena pouze ta data, která se týkají zvoleného prostoru sběru dat. Uložené ADS-B zprávy poskytují informace o letadle v daném čase. Mezi tyto informace patří 24bitová ICAO adresa letadla, zeměpisná délka, zeměpisná šířka, výška, rychlost a vertikální rychlost. 24bitová ICAO adresa letadla je jedinečný kód pro každé letadlo, na základě kterého se dá zjistit, o jaký typ letadla se jedná. Typy letadel jsou dohledatelné přes internetové stránky^{8,9}. Dekódovaná data z ADS-B se mohou porovnávat s uloženými záběry z kamer podle jejich času, který je ukládán spolu se záběry. Uložené záběry jsou přehledně dohledatelné. Aktuální záběry jde sledovat všechny tři najednou, zatímco uložené záběry jdou sledovat pouze samostatně. Je potřeba zvolit datum a kameru a pak již stačí posouvat čas dle potřeby. Rozhraní pro sledování záběrů také umožňuje nastavit různé parametry týkající se kvality záběru a barev¹⁰.

4 NEDOSTATKY SYSTÉMU MONITOROVÁNÍ KONDENZAČNÍCH STOP

4.1 Zdroje nedostatků systému

Monitorování kondenzačních stop se potýká se spoustou komplikací. Existují tři hlavní zdroje komplikací pro systém monitorování kondenzačních stop. Nejvýraznější dopad mají první dva zdroje, kterými jsou letadla a atmosféra. Tyto dva zdroje přímo ovlivňují schopnost měření kondenzačních stop. Třetím zdrojem komplikací je systém měření, který přináší pouze lehké překážky při zpracování dat. Jako příklad si můžeme představit následující situaci, ve které je potřeba provést během dne několikahodinové měření za účelem srovnání kondenzačních stop letadel stejné kategorie. Ráno po příchodu světla je kvůli mlze špatná dohlednost a na kamerách není nic vidět. Postupem času se dohlednost zlepšuje, avšak nejsou ideální podmínky pro tvorbu delších kondenzačních stop a měřit se stále nedá. Po poledni se podmínky pro tvorbu kondenzačních stop začínají zlepšovat, ale oblohu z větší části pokrývá oblačnost. Kondenzační stopy, které se již začaly tvořit jsou téměř nepozorovatelné. Během odpoledne se počasí začne vyjasňovat a k večeru nastane konečně ideální počasí pro sledování kondenzačních stop. Než nastane tma, několik letadel se podaří úspěšně zachytit. Z těchto několika letadel ale skoro každé letí v jiné letové hladině a ty, co letí ve stejné hladině, patří do úplně jiné kategorie. Z takovýchto dat se jen těžko určují přínosné korelace.

4.2 Komplikace způsobené letadly

Letadla komplikují měření kondenzačních stop hned několika způsoby. Jelikož by se letadla v České republice měla prozatím pohybovat po letových cestách, měření by mělo být přesné a v ideálním případě by se letadla měla vyskytovat na kameře vždy na stejné přímce. Ve skutečnosti tomu tak ale není. Letadla se na kameře pohybují v celkem širokém prostoru. Může za to kombinace horizontálních a vertikálních odchylek. Slabší vliv mají horizontální odchylky, které vznikají díky šířce koridorů letových cest, která v Evropě je 10 NM. Avšak většina letadel by se měla držet v těsné blízkosti středu koridoru. Také se stává, že letadla dostanou od ATS jednotky povolení pokračovat přímo k určitému bodu, mimo letovou cestu. Některé letadla se tak pohybují úplně jinde, než kde jsou očekávány. Vertikální odchylka zde však hraje větší roli. V případě měřicího systému v Děčíně je problém v tom, že kamery jsou nastaveny pod úhlem a ne přímo vzhůru. To znamená, že trasy letadel s různými letovými hladinami jsou na záběru vůči sobě různě posunuty. Čím výš letadlo letí, tím blíže je jeho trasa k hornímu okraji záběru kamery a naopak. Kdyby kamery mířily přímo vzhůru, tato

odchylka by se eliminovala. Na druhou stranu by se takto reálně mohla využít pouze jedna kamera a zabírala by jen malou část oblohy, takže by bylo třeba, aby se letová cesta nacházela přímo nad měřícím zařízením. Mezi další komplikace způsobené letadly patří to, že letadla nemusí během průletu záběrem kamery letět v konstantní výšce. Letadlům, která zrovna stoupají a klesají, se mění atmosférické podmínky a to může znamenat rozdíl mezi tím, jestli se kondenzační stopy tvoří či ne. Posledním problémem může být nerovnoměrné rozložení typů letadel, například pokud je třeba porovnávat stejné třídy letadel v podobných výškách z důvodu co nejpodobnějších atmosférických podmínek. Vyhovujících kombinací letadel může být málo a i přesto se mohou kondenzační stopy obdobných typů letadel v podobné výšce velmi lišit. Jediným řešením, jak by se tyto problémy daly obejít, by bylo, aby letadla létala ve stejný čas po stejné trase a ve stejné výšce. Takové řešení je samozřejmě nereálné ¹⁰.

4.3 Komplikace způsobené atmosférou

Druhým hlavním vnějším zdrojem komplikací je atmosféra a s ní spojené meteorologické jevy. Pozorování kondenzačních stop je přímo závislé na dohlednosti a oblačnosti. Jelikož jsou kamery nastaveny šikmo vzhůru, jsou závislé na horizontální i vertikální dohlednosti. Závislost kamer na oblačnosti je také silná. Měření během výskytu oblačnosti není nemožné, ale čím větší množství oblačnosti se v oblasti vyskytuje, tím je měření náročnější. Měření pak záleží na náhodě, zda se oblačnost zrovna překrývá s kondenzační stopou, nebo je stopa alespoň částečně viditelná. Avšak i menší množství oblačnosti snižuje pozornost a stopy s oblačností mohou začít splývat. Ideální podmínky jsou proto dobrá viditelnost a obloha bez oblačnosti. Ale ani tyto dvě podmínky nezaručí úspěšné sledování kondenzačních stop, protože mohou být podmínky nevhodné pro jejich tvorbu a pokud nebude výjimečně dobrá dohlednost, tak letadla nebudou zpozorovatelná. Tento problém by se vyřešil přiblížením kamer na letové cesty, aby byla letadla s velmi krátkými kondenzačními stopami zpozorovatelná. To by však bylo v rozporu s výše zmíněnými skutečnostmi, že kvůli horizontálním a vertikálním odchylkám se letadla na záběru kamery nepohybují po stejné přímce, ale v širším pásmu. Kdyby se kamery přiblížily na letové cesty, došlo by s největší pravděpodobností ke ztrátě části letadel, která kamera zabírá. Další překážkou spojenou s atmosférou je vítr. Pokud se ve vyšších vrstvách atmosféry nachází silnější vítr, může odfouknout kondenzační stopu mimo záběr. To představuje problém, pokud je zapotřebí měřit délku životnosti, jelikož je v tomto případě doba nezjistitelná. Druhým negativním vlivem větru je, že může kondenzační stopu postupně rozfoukat, až splyne s okolní oblačností. Hranice, kdy se stále jedná o kondenzační stopu a kdy se již jedná o indukovaný cirrus, není jasná a tudíž délka životnosti kondenzační stopy je opět nezjistitelná. Meteorologická situace

z hlediska oblačnosti je v Děčíně průměrná. Porovnal jsem data z Amatérské meteorologické stanice v Děčíně, kde jsou vedeny jednoduché záznamy o oblačnosti od roku 2000. Každý rok je v těchto záznamech rozdělen na tři kategorie (v závorce je uveden průměrný roční počet zastoupení kategorie za posledních 16 let):

J – Jasno, skoro jasno, polojasno	(120)
O – Oblačno, skoro oblačno	(90)
Z – zataženo, skoro zataženo	(155)

V průběhu let let data oscilují, ale hodnoty jsou většinou blízké uvedeným průměrným hodnotám. Z těchto tří uvedených hodnot je evidentní, že největší zastoupení oblačnosti má kategorie Z. Druhá v pořadí je kategorie J a poslední, nejméně se vyskytující je kategorie O. Z hlediska měření kondenzačních stop je zajímavá pouze kategorie J, ze které plyne, že přibližně čtvrtina roku se dá využít pro měření kondenzačních stop z hlediska oblačnosti. Tyto hodnoty slouží pouze jako přibližný obraz průměrné meteorologické situace během roku v okolí Děčína. Každý rok je rozdílný a počasí během celého dne se často nedá shrnout do jedné kategorie. Také není zcela jasné, jakým způsobem jsou kategorie J, O, Z přesně rozděleny. Jedná se pouze o převládající počasí během celého dne, to však nevylučuje, že část dne může vypadat zcela jinak, než jaké je převládající počasí. Reálně je počasí během dne proměnné a často i za horších průměrných podmínek se dá alespoň část dne využít pro měření¹¹.

4.4 Komplikace způsobené systémem

Momentálně největším nedostatkem tohoto systému měření kondenzačních stop je to, že kamery nejsou nastaveny na předem vybraná místa a prostor sběru dat není přizpůsobený kamerám. Kamery míří na místa, kde je předpokládán největší provoz, ale není přesně zmapováno, jakou část oblohy doopravdy zabírají a zda neexistují nějaké výhodnější alternativy, které by umožnily zachytit větší množství letadel. S tím je spojeno, že kamerám není přizpůsoben prostor sběru dat. Prostor sběru dat je souřadnicemi definovaná oblast v okolí Děčína, která by měla obsloužit všechny tři kamery. Ale není jisté, zda tomu tak doopravdy je. Je nutné zmapovat, jaké prostory kamery zabírají a ty porovnat s prostorem sběru dat. Tyto problémy budou řešeny v kapitole č.5.

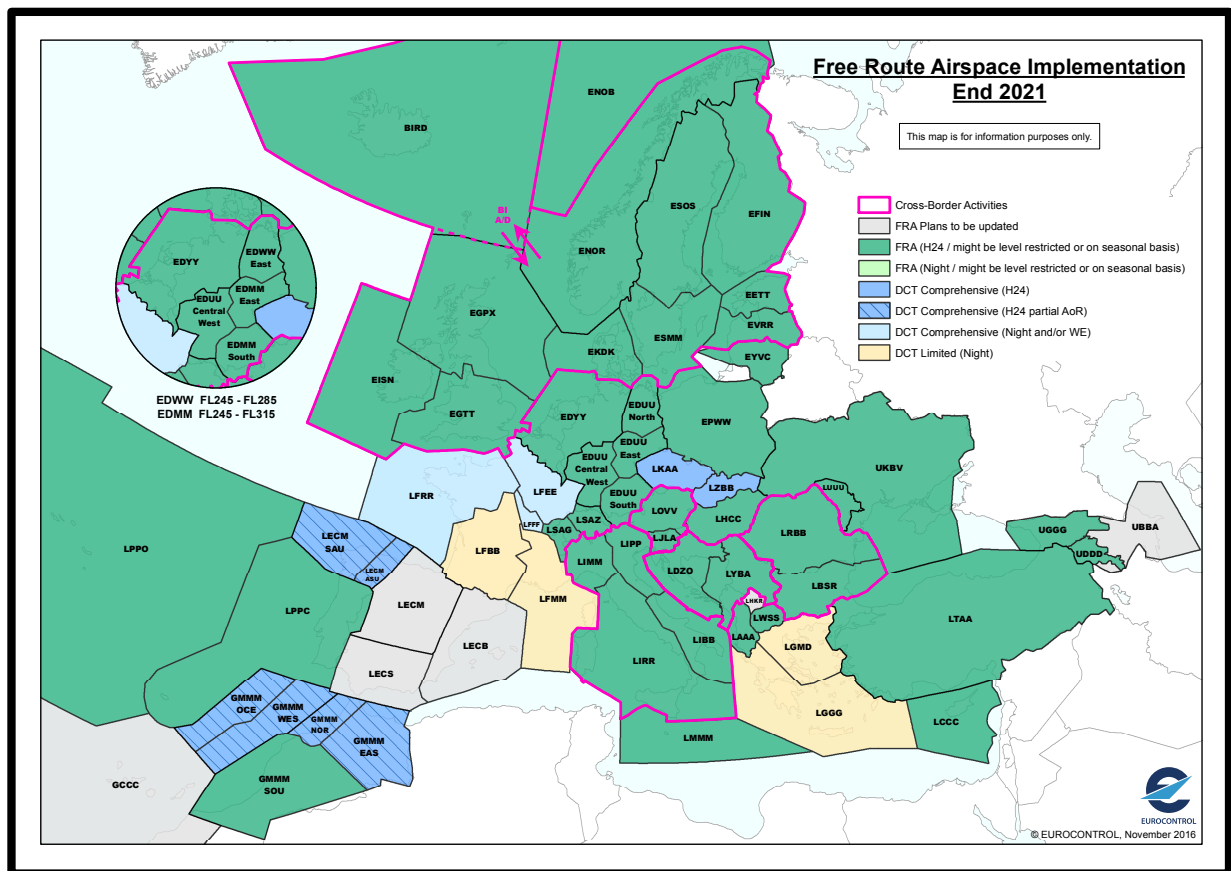
Dalším nedostatkem systému je, že vizuální data a informace o letadlech se nenachází v jednom uceleném programu. Systém funguje tak, že vizuální data jsou přístupná přes webovou aplikaci, zatímco data o letadlech jsou dostupná přes MATLAB. Je nutné pak podle času spojovat záběry s letadly. V ideálním případě by tyto dva typy informací byly přístupné

ve stejné aplikaci a při sledování letadla na záběru by bylo vidět, o který typ letadla se jedná a v jaké výšce letí. V případě, že by se na záběru objevilo víc letadel, byla by poskytována také informace o směru letadla, podle které by šlo rozpoznat, o které letadlo se jedná. Takový systém by však byl mnohem složitější a finančně náročnější. Také je potřeba zmínit problémy spojené s kamerami. Pokud jsou kamery natočeny směrem na východ nebo na západ, může problém představovat Slunce. Na to kamery nejsou uzpůsobené a pokud míří přímo na slunce, mohou se poškodit. Pokud zabírají Slunce pouze částečně, kamery by se poškodit neměly, avšak záběr kamery je v tu dobu téměř nepoužitelný. S touto komplikací se s největší pravděpodobností budou kamery dále potýkat i po optimalizaci, jelikož na východ od Děčína se nachází značné množství provozu této oblasti. Tento jev se mění v průběhu roku podle toho, jak se mění trajektorie slunečního kotouče po obloze. Celoročně tato chyba tudíž postihne značný prostor na východ a na západ od Děčína. Poslední nedostatek systému plyne z metody sběru dat o letadlech. Jedná se o 24bitovou ICAO adresu letadel, která je zakomponována do ADS-B zpráv jako identifikátor letadel. Představuje překážku, protože dohledávání typu letadla z této adresy je složité, ale ne nemožné. Typy většiny letadel jsou dohledatelné na internetových adresách zmíněných v předchozí kapitole č.4. Vyřešení tohoto problému by vyžadovalo změnu ze strany ADS-B systému.

4.5 Budoucí komplikace

Dalším možným zdrojem komplikací pro systémy monitorování kondenzačních stop je FRA. FRA je koncept letového prostoru, ve kterém se mohou plánovat lety libovolně mezi jednotlivými body. Pro plánování stačí využít vstupní a výstupní bod z FRA území, ale budou se také moci využívat body uvnitř tohoto území. Lety budou stále řízeny příslušnou ATS jednotkou, avšak odpadá nutnost využívat letové cesty. V roce 2008 EUROCONTROL začal s přípravou a implementací FRA pro celou Evropu. Hlavním cílem tohoto projektu je zvýšit efektivitu a kapacitu letecké dopravy v Evropě, která je velmi hustá. Také by tato změna měla přispět k ochraně životního prostředí. Umožnila by letadlům využívat přímé tratě a tím snížila doby letu a to by snížilo množství spotřebovaného paliva. EUROCONTROL očekává, že do konce roku 2019 bude ve většině Evropy FRA implementován a do roku 2022 se bude jednat o celou Evropu. V této době funguje FRA například ve Rakousku, nebo v Maďarsku. Obrázek č.3 znázorňuje plány implementace FRA do konce roku 2021 ¹². Měřicí systém v Děčíně je založen na sledování letových cest. Tudíž s touto změnou bude třeba vymyslet i nový způsob měření. Jediným řešením nejspíš bude zaměřit kamery na navigační body. Je však otázkou, které navigační body zůstanou aktivní. Další otázkou je, které body se pak budou reálně využívat. Dá se předpokládat, že navigační body na hranicích zůstanou používané. Takových bodů je naštěstí v blízkosti Děčína hned několik,

například: OMELO, DEKOV, HDO a LALUK. Proto by neměl být problém se budoucí změně na FRS přizpůsobit.



Obrázek č.3 – Implementace FRA ke konci roku 2021 ¹²

5 NÁVRHY PRO OPTIMALIZACI SYSTÉMU

5.1 Optimalizace

Cílem této bakalářské práce je optimalizace systému pro měření kondenzačních stop na pracovišti ČVUT Fakulty dopravní v Děčíně. Optimalizace může být dosaženo několika různými způsoby. Podle potřeby je možnost směrově a výškově pohybovat s kamerami. Dále je možnost měnit souřadnice prostoru sběru dat ze systému ADS-B. Poslední optimalizační možností je časové omezení ukládání záběrů z kamer. Směrového a výškového nastavení kamer bude využito k zaměření kamer směrem na místa s nejsilnějším provozem v okolí Děčína. Tomuto nastavení kamer bude poté přizpůsoben prostor sběru dat, aby se neukládala data z prostorů, které nejsou monitorovány. Nakonec budou určeny časové limity, ve kterých se budou data z kamer ukládat, aby nedocházelo k ukládání redundantních dat. Celá kapitola 5 se bude podrobně věnovat výše popsanému postupu.

5.2 Provoz v oblasti Děčína

Prvním krokem ke zlepšení systému monitorování kondenzačních stop bylo určení koridorů, kterými prolétávají letadla a jaká je hustota provozu v těchto koridorech. Původní oblast, ze které se sbírají data o letadlech, je ohraničena čtyřmi body. Tyto body a jejich souřadnice jsou popsány v tabulce č.1.

Tabulka č.1 – Body původního prostoru sběru dat

Bod	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka
A	50.8500 N	13.9833 E
B	50.8500 N	14.3667 E
C	50.5833 N	14.3667 E
D	50.5833 N	13.9833 E

Oblast vymezenou těmito souřadnicemi a její jednotlivé body je vyznačená do mapy (Obrázek č.4) červenou barvou. Tuto vytvořenou mapu jsem použil pro porovnání s mapou horních letových cest v České republice z AIP¹³, abych zjistil, zda danou oblastí prochází nějaké letové cesty. Bral jsem v potaz pouze horní letové cesty, vzhledem k jejich významu pro tvorbu kondenzačních stop. Kondenzační stopy se jen zřídka tvoří ve výškách spodních letových cest, které v České republice sahají pouze do letové hladiny 245. Z tohoto

porovnání vyšlo najevo, že prostorem v okolí Děčína prochází tři horní letové cesty. Tyto cesty jsou: L620, Z21, N869. Tyto letové cesty a jejich názvy jsem na obrázku č.4 znázornil černou barvou. Trasy těchto letových cest v České republice jsou:

L620: OMELO – KOMUR – KOPIT – HLV – ROMIS

Z21: OMELO – VOZ – NELPA – PISAM

N869: OKG – KONAR – GOPSI – RAVKU – ASTEL - TOMTI

Dalším krokem bylo zjistit, jakými částmi prostoru a s jakou četností letadla ve skutečnosti prolétávají. Byl monitorován dvanáctihodinový interval, ve kterém byl předpoklad největšího letového provozu. Měření bylo provedeno 21.10.2016 od 6:00 UTC do 18:00 UTC. Měření spočívalo v monitorování leteckého provozu přes internetovou radarovou aplikaci flightradar24⁹. Sledoval jsem pouze letadla, která proletěla alespoň částí měřeného prostoru či v jeho blízkosti. Sledovat vzdálenější oblasti by se z důvodu kvality záběrů nevyplatilo. Také jsem v aplikaci ignoroval letadla letící níž než v letové hladině 250, která nemají na tvorbu indukované oblačnosti velký vliv. Trasy letadel, která splňovala daná kritéria, jsem zaznamenal do mapy s co největší přesností, které šlo dosáhnout. Celkově jsem během průběhu dvanáctihodinového měření zakreslil 106 pohybů letadel v měřeném prostor. Trasy těchto letadel jsem po zakreslení do mapy (Obrázek č.4) dále barevně rozdělil podle jejich kategorie turbulence v úplavu na tři základní druhy:

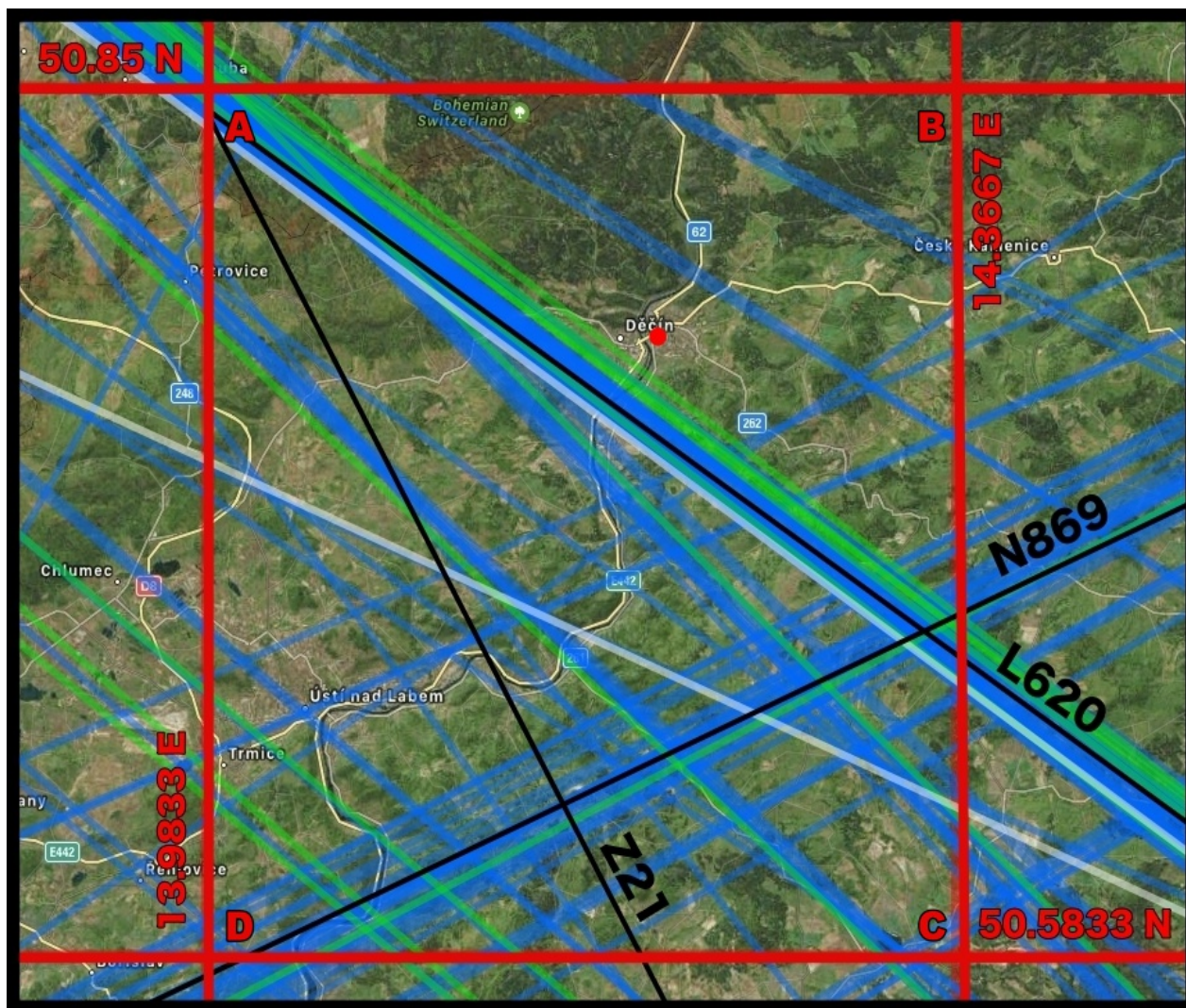
Kategorie Medium – 94 letadel (Na obrázku č.4 modře)

Kategorie Heavy – 10 letadel (Na obrázku č.4 zeleně)

Kategorie Super Heavy – 2 letadla (Na obrázku č.4 bíle)

Z obrázku č.4 se dá vyčíst, že nejpoužívanější letovou cestou v této oblasti je letová cesta L620. Druhou nejpoužívanější cestou je letová cesta N869, která měla také srovnatelně silný provoz. Nejmenší provoz měla letová cesta Z21. Z toho plyne, že nejefektivnější by bylo sledovat letové cesty L620 a N869, případně místo, kde dochází k jejich křížení, které se nachází jihovýchodně od Děčína. Po letové cestě Z21 jsem v době měření nezaznamenal jediný pohyb. Tato letová cesta však nemá žádné výškové, ani časové omezení. Z tohoto důvodu jsem zkontaktoval *Řízení letového provozu České republiky*, zda na letové cestě existují omezení či pravidla, která nejsou publikovaná. Důvodem, proč nebyl na této letové cestě zaznamenán žádný pohyb, je velmi malá hustota provozu. Její hlavní využití je pro odlety z letiště EDDP (*Leipzig/Halle Airport*) jižním směrem. Také se využívá jako trať mezi letišti EDDP a LOWW (Vienna International Airport) do letové hladiny 245. Tato letová cesta je také zmíněna v RAD (Route Availability Document s.363) s platností od 07.01.2017. Tento

dokument praví, že letová cesta Z21 není dostupná pro letový provoz v úseku mezi body OMELO – VOZ, s výjimkou pro přiletý do letové informační oblasti LKAA. Vysvětlením je, že tato změna má ulehčit jižnímu části letové informační oblasti LKAA od nadbytečného letového provozu.



Obrázek č.4 – Letecký provoz v oblasti Děčína
Modře, bíle, zeleně – trasy letadel dle kategorie v úplavu
Červeně – prostor sběru dat
Černě – letové cesty

Zdroj: Autor, podklad Applemaps

5.3 Původní nastavení kamer

Dalším nutným krokem vstřícné optimalizaci systému bylo zjistit původní konfiguraci kamer. Bylo potřeba zjistit, kterým směrem a pod jakým výškovým úhlem jsou jednotlivé kamery nastaveny. Poté bude možné určit, kterou část oblohy jednotlivé kamery zabírají a jak moc se zabíraná část překrývá s oblastí, ze které se sbírají data o letadlech. Postup měření spočíval v tom, že jsem zároveň sledoval aktuální radarový záznam z aplikace flightradar24⁹ a živý přenos z kamer měřicího systému v Děčíně. Soustředil jsem se na letadla, u kterých jsem očekával, že proletí oblastí okolo Děčína, a sledoval jsem, zda se objeví na některém ze záběrů. Když jsem si udělal přibližný obraz o jednotlivých kamerách, začal jsem měřit přesněji. Ve chvíli, kdy se letadlo objevilo v některém záznamu, zaznamenal jsem si jeho polohu na kameře a jeho trasu na mapě. Postupoval jsem stejným způsobem, když letadlo záběr kamery opustilo. Aby měření bylo přesné, potřeboval jsem zaznamenat alespoň několik průletů letadla na každé hraně záběru. Přesnost měření vzrůstala s narůstajícím počtem zaznamenaných průletů letadel. Jakmile jsem měl dostatečný počet průletů a byl jsem si jist prostorem, který kamera zabírá, sestrojil jsem jej do mapy.

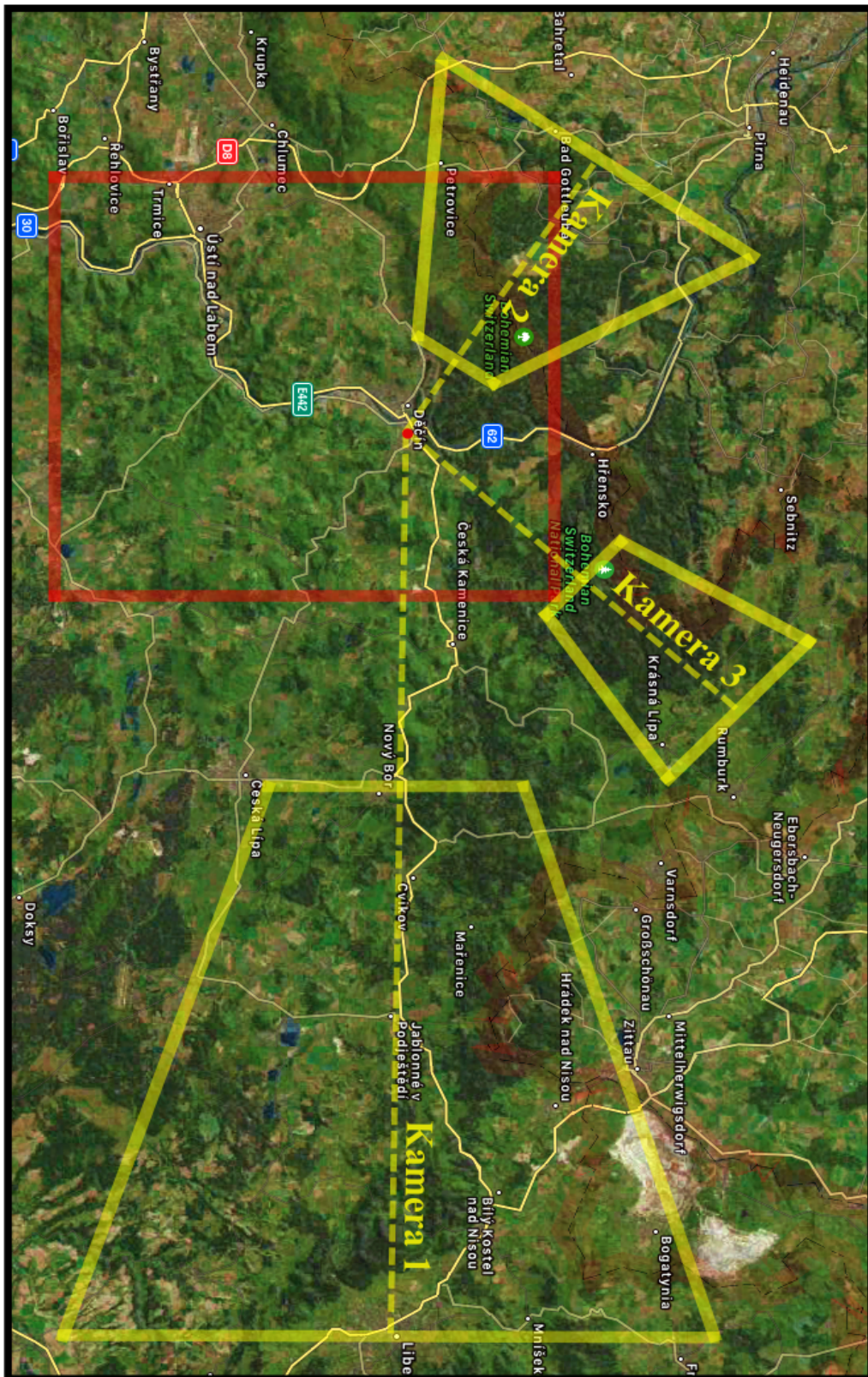
K měření bylo zapotřebí velmi dobré počasí s dobrou dohledností a s minimálním množstvím oblačnosti, aby se dala obloha sledovat bez překážek. Tato skutečnost mě zpozdila o několik týdnů a měření jsem provedl až 14.11. 2017. I přes zpoždění počasí nebylo ideální, ale dostačující na provedení měření. Nevyskytovala se oblačnost a vertikální i horizontální dohlednosti byly ucházející. Problémem ale byly nevhodné podmínky pro tvorbu dlouhotrvajících kondenzačních stop. Tvořily se pouze velmi krátké stopy, které většinou nebyly delší než samotné letadlo. O to bylo měření složitější, protože letadla byla hůře pozorovatelná. Nejprve jsem z prvních několika průletů určil přibližný směr kamer a poté jsem začal se samotným definováním jednotlivých stran prostorů zabíraných kamerou. Výsledkem tohoto měření je obrázek č.5. Červená tečka na mapě znázorňuje měřicí zařízení v Děčíně. Červený čtyřúhelník vyznačuje oblast, ze které se shromažďují data o letadlech. Oblasti ohraničené žlutou plnou čarou jsou oblasti záběru jednotlivých kamer. Když tuto mapu porovnáme s mapou předešlou (obrázek č.4), dají se již vyvozovat určité závěry ohledně účinnosti jednotlivých kamer.

Kamera č.1 je namířena na východ. Celý prostor, který kamera zabírá, se nachází zcela mimo oblast sběru dat. Bylo těžké rozpoznat, do jaké vzdálenosti kamera míří, jelikož ve vzdálenější části záběru již letadla ani kondenzační stopy nešly za normálních meteorologických podmínek pozorovat. Nejvzdálenější letadla byla zpozorována za dobré dohlednosti až někde na úrovni Jablonce nad Nisou. Spodní polovina záběru je nepoužitelná z toho důvodu, že letadla se v ní nacházejí moc daleko a také je zabírán kus země. Výškové

nastavení kamery je tudíž nevyhovující. To však neplatí pro nastavení směrové, jelikož záběr míří přímo na letovou cestu N869. To znamená, že alespoň část letadel ze záběru proletí v určité chvíli také prostorem sběru dat. To je však nedostačující a nastavení kamery bude nutno změnit.

Kamera č.2 je namířena severozápadně. Zabírá levou vrchní část prostoru sběru dat, kterou protíná letová cesta L620. Spolu s letovou cestou L620 zabírá kamera také navigační bod OMELO, na kterém většina letadel zatáčí, což by mohlo být přínosné z hlediska budoucího studia. Větší polovina záběru se ale také nachází mimo požadovaný prostor sběru dat. Nastavení této kamery je téměř ideální díky jejímu zaměření na letovou cestu L620, na které jsem v této oblasti zaznamenal největší počet pohybů letadel. Jediným nedostatkem kamery č.2 je, že přesahuje prostor sběru dat.

Kamera č.3 je namířena severovýchodně. Nastavení této kamery není ideální v žádném aspektu. Celý záběr této kamery se nachází až za hranicemi prostoru sběru dat. Navíc nezabírá žádnou z letových cest, které protínají prostor kolem Děčína. Tudíž záběry z této kamery nemají uložené data o letadlech, která jimi proletí a jsou nepoužitelné pro případné studování. Kamera zabírá letovou cestu cestu M725, která vede podél východní strany prostoru sběru dat. Tato letová cesta by se také mohla použít pro sledování, pokud se nenajdou lepší alternativy. U této kamery bude potřeba změnit celé její nastavení.



Obrázek č.5 – Prostory zabírané kamerami

Žlutě – prostory zabírané kamerami

Červeně – prostor sběru dat

Zdroj: Autor, podklad Applemaps

5.4 Hlavní změny

Z přechozí podkapitoly plyne, že žádná ze tří kamer není ideálně nastavena. U všech tří kamer budou nutné úpravy. Směrové a výškové úpravy určím pouze přibližně, jelikož kamerový systém není vytvořen tak, aby se na něm daly přesně provádět nepatrné stupňové úpravy. Po hlavních změnách kamer bude ještě potřeba udělat druhotné změny, aby kamery mířily do správného místa. Rozhodl jsem se pro následující hlavní změny.

Kamera č.1 je rozumně nasměřovaná na letovou cestu N869, proto jsem se rozhodl zachovat její směrové nastavení beze změny. Avšak úhel jejího výškového nastavení je velice malý a z toho důvodu jsem se rozhodl jej zvýšit. Pozorovaná oblast se tím značně přiblíží k oblasti Děčína a celý její záběr bude použitelný, namísto původní poloviny. Změna by měla vyjít tak, že letová cesta N869 bude stále procházet značnou částí záběru. Stávající výškové nastavení kamery jsem určil jako 14° . K přibližnému výpočtu jsem použil průlet letadla záběrem kamery. Použil jsem jeho zeměpisných poloh při vstupu a výstupu ze záběru, jeho letovou hladinu a nadmořskou výšku Děčína. Rozhodl jsem se pro změnu výškového nastavení kamery na 19° , tedy pro změnu o 5° nahoru.

Kamera č.2 je nastavena ze všech kamer nejlépe. V původním nastavení zabírá na letové cestě L620 nejvíce letadel. Její směrové ani výškové nastavení se nebude měnit. Bude však třeba upravit prostor sběru dat tak, aby se v něm nacházel celý záběr této kamery. Rozhodl jsem se změnit prostor sběru dat tím způsobem, že nahradím levý horní bod prostoru (bod A) dvěma novými vzdálenějšími body. Tyto dva body zvětší prostor sběru dat dostatečně, aby se do něj celý záběr kamery č.2 vešel. Dva nové body jsou definovány dle následující tabulky č.2.

Tabulka č.2 – Body nahrazující původní bod A

Bod	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka
E	50,7882 N	13,8526 E
F	50,9703 N	14,0628 E

Kamera č.3 má nejhorší nastavení ze všech tří kamer. Její záběr je zcela mimo prostor sběru dat a převážná většina letadel, která jejím záběrem proletí, ani prostorem sběru dat neproletí. Je třeba změnit její směrové nastavení a s největší pravděpodobností také nastavení výškové. Jako ideální kandidát pro zaměření této kamery se jeví křižovatka letových cest N869 a L620, kde by kamera č.3 zaznamenávala stejný provoz jako kamery č.1 a č.2 dohromady. Také by zde potenciálně mohlo docházet k reakcím mezi křížícími se

kondenzačními stopami. Rozhodl jsem se pro změnu směrového nastavení kamery do magnetického směru 135°, bez žádné výškové změny. Výškové nastavení bude potřeba změnit jen velmi málo, proto se hlavně soustředím na správné směrové zaměření křižovatky letových cest.

5.5 Dodatečné změny

Výše provedené změny nasměrovaly kamery přibližně na předem vybraná místa. Každá z kamer nyní alespoň částečně zabírá požadovanou letovou cestu či jejich křížení. Nyní bylo potřeba upravit kamery, aby požadované letové cesty křížovaly záběry kamer co nejefektivnějším způsobem. Proto byly dále provedeny následující úpravy.

Kamera č.1 byla po prvotních změnách namířena velice vysoko. Zabírala sice stále letovou cestu N869, avšak pouze částečně v pravém dolním rohu. Po prvotní změně jsem si při sledování všiml, že na okraji záběru jsou zabrané také letové cesty M725 a L858. Tyto letové cesty byly původně částečně zabírány kamerou č.3. Nachází se celé východně od prostoru sběru dat a jejich trasování je následující:

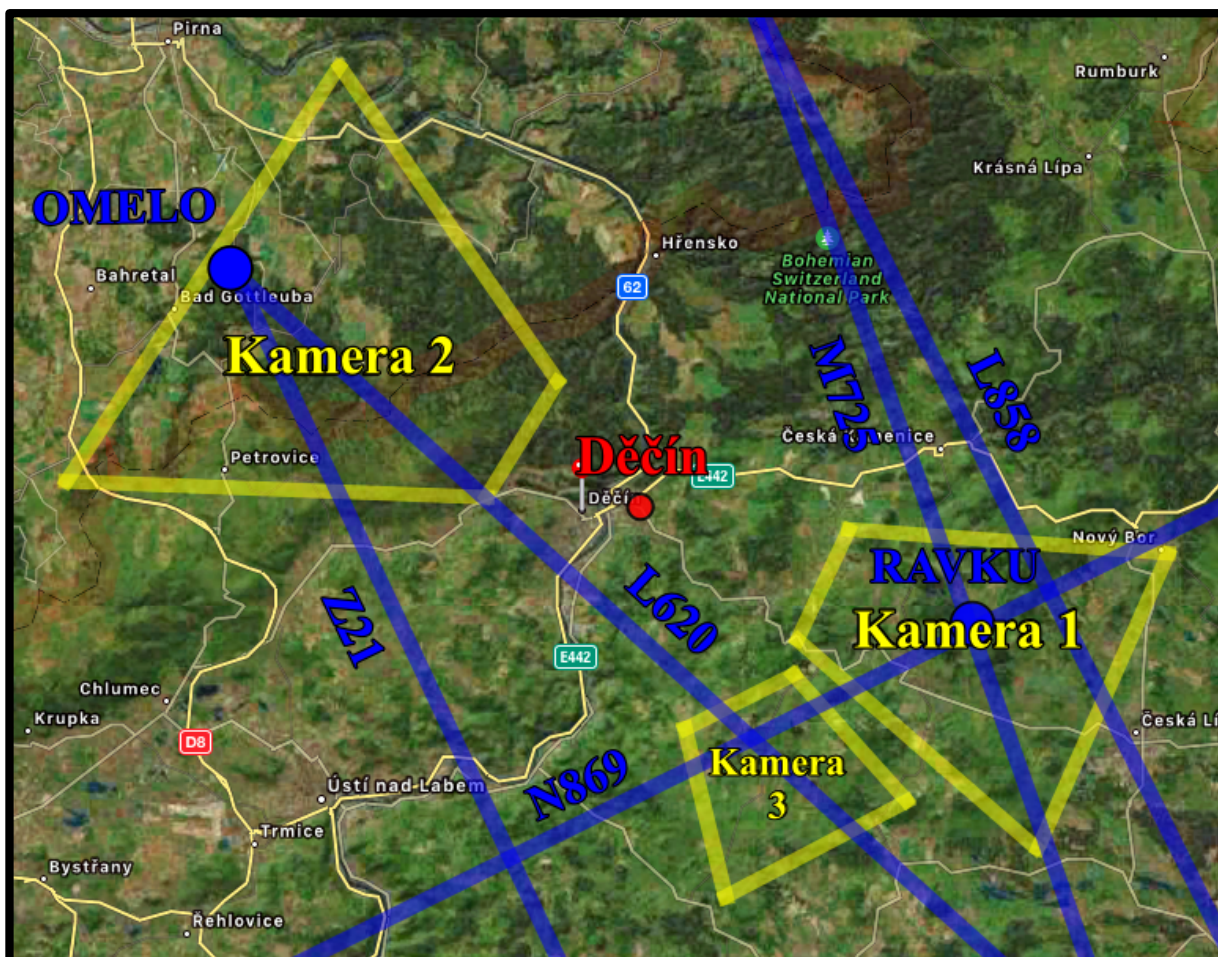
M752: HDO – RAVKU – ODLIV – GOLOP – BAVIN – VOZ – TABEM – OKF –
LANUX

L858: LANUX – OKF – VLM – RISUK – KOMUR - HDO

S pomocí mapy horních letových cest v České republice¹³ jsem zjistil, že východně od prostoru sběru dat, ale stále v jeho blízkosti, se nachází křížení letových cest N869 a M725. Křižovatkou těchto dvou letových cest je navigační bod RAVKU. Tento navigační bod je ideální pro monitorování, jelikož se na něm střetává mnoho letadel z obou frekventovaných letových cest. V blízkosti tohoto křížení se také nachází křížení letových cest N869 a L858. Letové cesty L858 mají podobnou trasu, liší se však směrem letu. Letová cesta N869 slouží pro lety na jih a letová cesta L858 pro lety na sever. Ve sledované oblasti východně od Děčína jsou tyto dvě letové cesty velice blízko. Proto jsem se rozhodl kameru č.1 namířit na bod RAVKU, tak aby se v záběru nacházela i letové cesta L858 a později upravit prostor sběru dat tak, aby se v něm křížení nacházelo. Tato úprava vyžadovala nastavit kameru do magnetického směru 107° a poté upravit výškové nastavení kamery jejím snížením asi na 16°.

Kamera č.2 je nastavena správně a zůstává bez změn. Míří severozápadně na navigační bod OMELO, za kterého vedou na území České republiky letové cesty L620 a Z21.

Kamera č.3 je po prvotních změnách nastavena přibližně do požadovaném směru. Její směr byl dále poupraven na magnetický směr 140° tak, aby zabíral křížení požadovaných letových cest N869 a L620. Na křížení těchto dvou letových cest se nenachází žádný navigační bod. Výškově byla kamera nastavena asi na 15°.



Obrázek č.6 – Pozice kamer vzhledem k letovým cestám

Žlutě – prostory zabírané kamerami

Modře – Letové cesty a body

Červeně – Měřící zařízení

Zdroj: Autor, podklad Applemaps

5.6 Úpravy prostoru sběru dat

Kamery jsou již natočeny do ideálních směrů a zabírají požadované oblasti. Oblasti, které kamery zabírají, se ale zatím neshodují s prostorem sběru dat. Na některých místech jej více či méně přesahují. Na jiných místech je naopak prostor sběru dat zbytečný, jelikož záběry kamer ani zdaleka nezabírají celý měřený prostor. Existují dva hlavní důvody, proč by se měly záběry kamer a prostor sběru dat překrývat. Prvním je eliminace redundantních dat. Druhým je naopak zajištění, aby se ukládala všechna data, která se ukládat mají. To znamená dohledatelnost dat pro všechna letadla, která se objeví na záběrech z kamer. Při vymýšlení hranic nového prostoru sběru dat jsem se snažil, aby řešení bylo co nejjednodušší a zároveň co nejefektivnější. Nakonec jsem vytvořil dvě možnosti, z nichž jedna je co nejjednodušší a druhá co nejpřesnější. Obě možnosti jsou popsány níže.

Varianta A: Toto řešení bylo navrženo, aby bylo co nejjednodušší na implementaci. Navrhovaný prostor je definován pěti body. Body jsou rozmístěny tak, aby v prostoru byly obsáhnuty celé záběry všech tří kamer. Negativní stránkou tohoto řešení je, že je zabírán relativně velký nevyužitý prostor mezi kamerami. Není to však velké negativum, jelikož všechny letové cesty v této nevyužité oblasti jsou sledované kamerami a jedná o letadla, která nás zajímají. Toto řešení je znázorněno na obrázku č.7. Jednotlivé body ohraničující tento prostor jsou popsány v následující tabulce č.3.

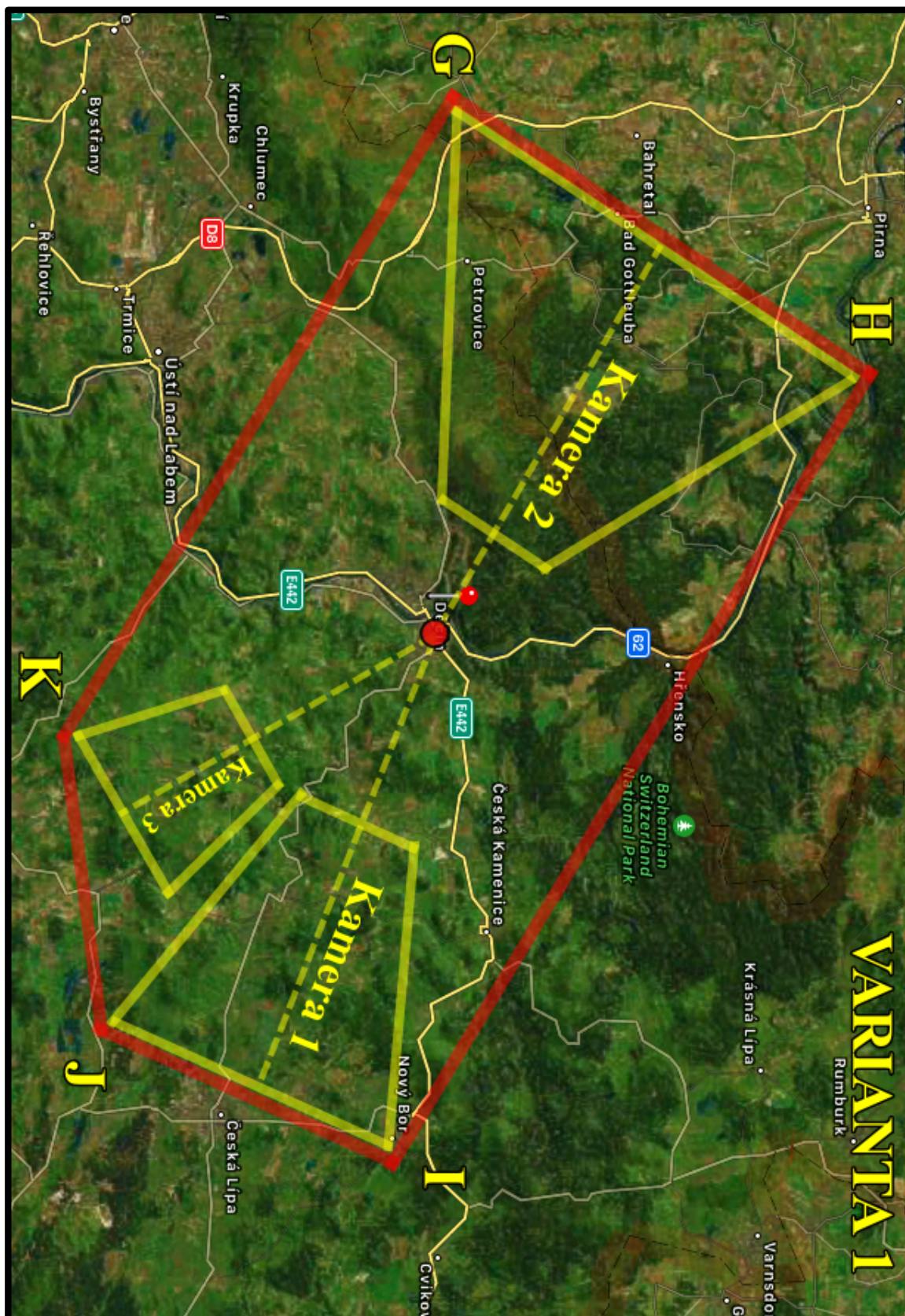
Tabulka č.3 – body prostoru varianty A

Bod	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka
G	50.7882 N	13.8526 E
H	50,9703 N	14.0628 E
I	50,7637 N	14,5680 E
J	50,6325 N	14,4853 E
K	50,6151 N	14,2998 E

Varianta B: Toto řešení obsahuje stejné body jako varianta A. Liší se však v tom, že tato varianta je uzpůsobená, aby se prostor sběru dat maximálně shodoval s prostorem záběrů kamer. Pro tuto variantu bylo nutno rozdělit prostor sběru dat na dvě části. První samostatná část prostoru je ohraničena čtyřmi body a obsahuje prostor zabíraný kamerou č.2. Druhá samostatná část variant B je ohraničena pěti body a obsahuje prostor zabíraný kamerami č.1 a č.3. Všechny body jsou popsány v následující tabulce č.4 a prostor je vyobrazený na obrázku č.8.

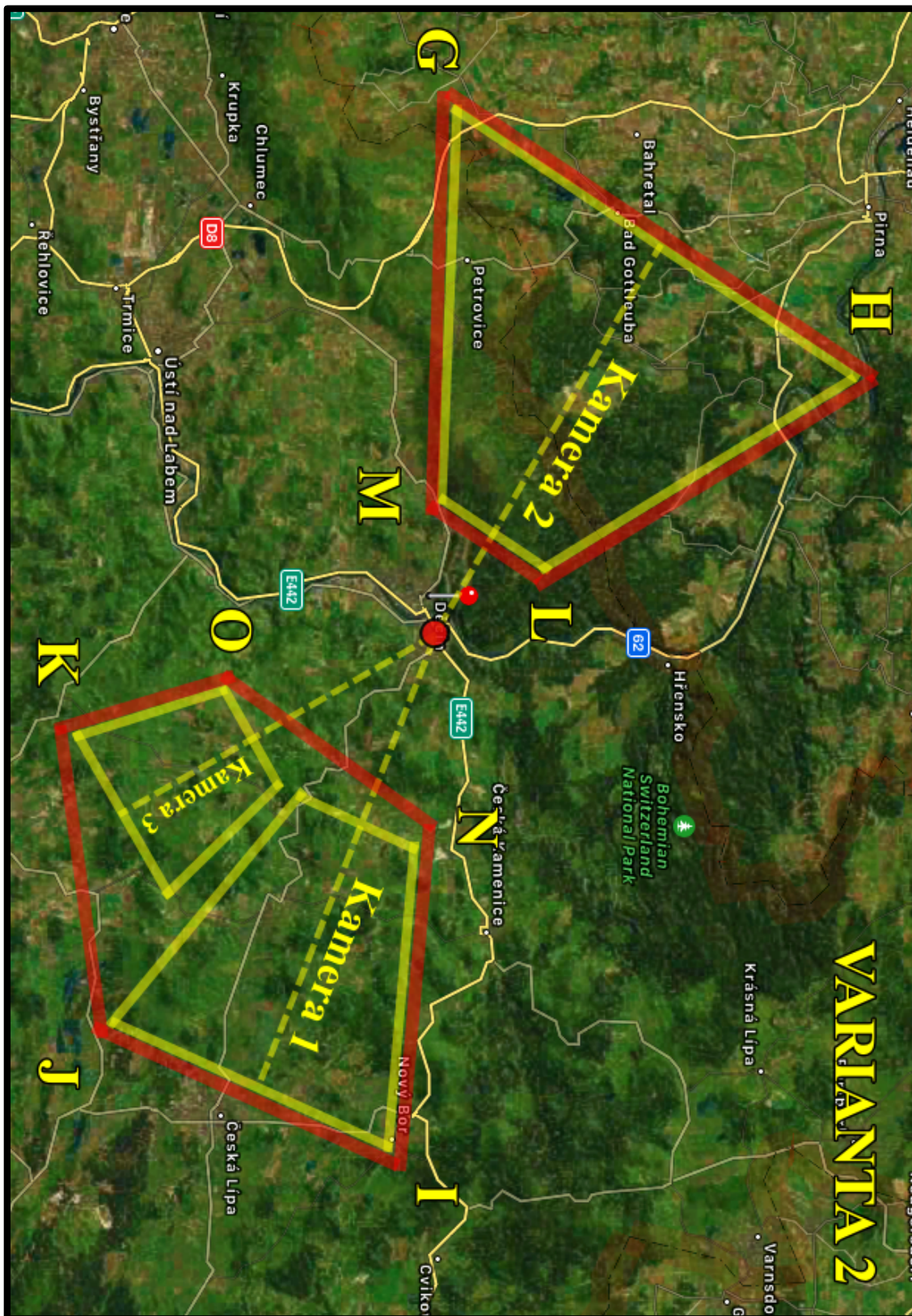
Tabulka č.4 – body prostoru varianty B

Bod	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka
První část prostoru		
G	50.7882 N	13.8526 E
H	50,9703 N	14.0628 E
L	50,8107 N	14,1929 E
M	50,7674 N	14,1401 E
Druhá část prostoru		
N	50,7729 N	14,3519 E
I	50,7637 N	14,5680 E
J	50,6325 N	14,4853 E
K	50,6151 N	14,2998 E
O	50,6899 N	14,2383 E



Obrázek č.7 – Varianta A prostoru sběru dat

Zdroj: Autor, podklad Applemaps



Obrázek č.8 – Varianta B prostoru sběru dat

Zdroj: Autor, podklad Applemaps

5.7 Časové omezení kamer

Posledním nutným zásahem bylo upravení časového intervalu ukládání dat z kamer. Toto jsem považoval za důležité, jelikož každý den je alespoň třetina záběrů nepoužitelných z důvodu nedostatku světla. Kondenzační stopy jsou v noci zrakem těžko viditelné. To platí ještě mnohem víc pro kamery, které k tomu nejsou uzpůsobené. Mým cílem bylo nastavit kamery tak, aby nenatáčely dřív než za svítání a později než za soumraku. Také jsem se snažil, aby časové restriktce byly co nejjednodušší na implementaci.

Plánem bylo rozdělit celý rok na tři až pět částí s různými časovými omezeními, podle toho, jak se během roku mění denní cyklus. Rozdělení na jednu či dvě části by nebylo dostatečně efektivní. Buď by se ukládalo velké množství nepoužitelných dat, nebo by se o část použitelných dat přicházelo. Rozdělení na větší množství částí řeší oba tyto problémy. Na druhou stranu, čím víc částí, tím složitější implementace řešení. Při rozhodování, na kolik částí rozdělit rok, jsem využil internetových stránek www.sunset-sunrise.org¹⁴. Tyto internetové stránky mi umožnily vypočítat přesné časy východu a západu slunce pro jakékoliv místo a v jakýkoliv den. Tato data jsou zobrazena v tabulce a také v interaktivním grafu. Jediným problémem těchto internetových stránek je, že všechny časy jsou v místních časech a tudíž jsou v nich zakomponované přechody mezi letním a zimním časem. V grafu jsou tyto přechody zobrazeny hodinovým skokem. Všechny časy byly z tohoto důvodu přepočítány do UTC.

Rozhodl jsem se rozdělit rok na čtyři části o přibližně stejné délce. Každému z tříměsíčních intervalů jsem přiřadil dva časy pro začátek a konec ukládání dat. Všechny časy jsou udány v UTC. Snahou bylo, aby se ukládalo co největší množství použitelných dat. Tudíž v některých segmentech se v malé míře ukládají nepoužitelná data. Rozdělení roku je popsáno v tabulce č.5. Jednotlivé segmenty jsou rozděleny dle data na:

- 1) 1.2. – 30.4.
- 2) 1.5. – 31.7.
- 3) 1.8. – 31.10.
- 4) 1.11. – 31.1.

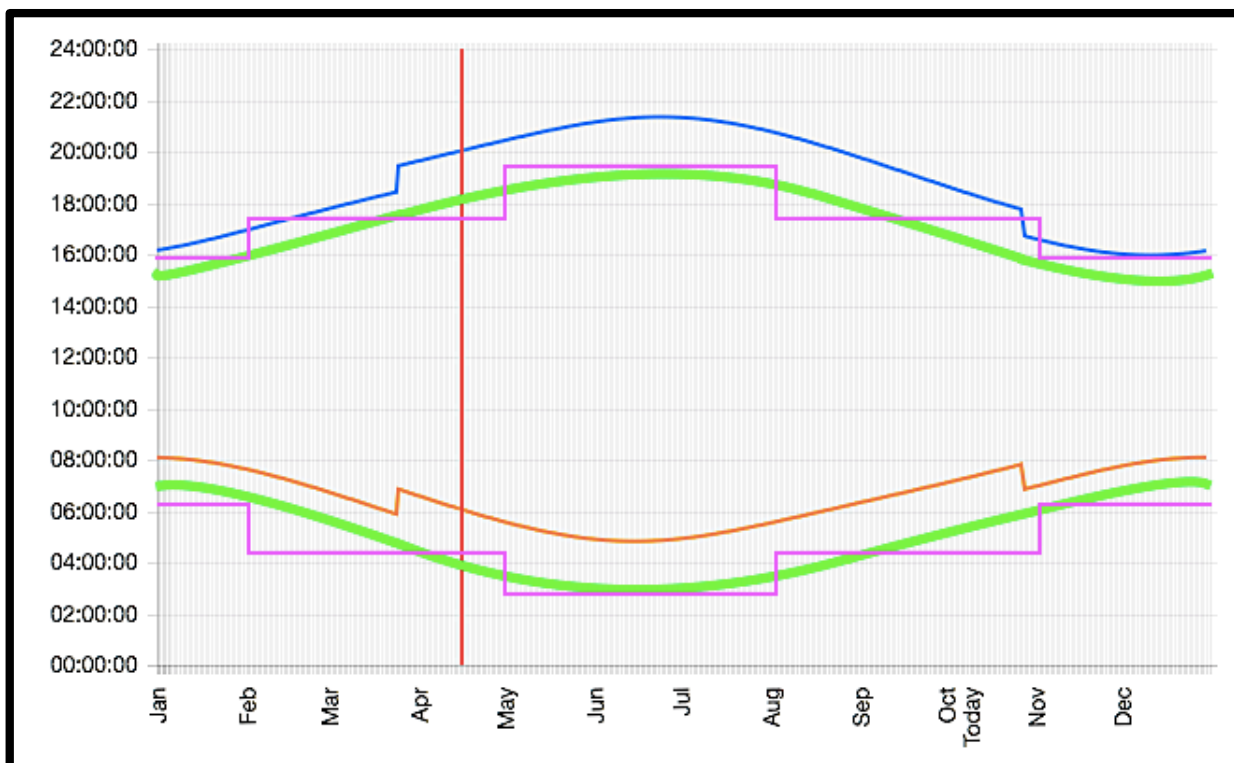
Pro stanovení hranic jsem využíval průměrů maximálních a minimálních východů a západů slunce v daných segmentech. Tyto hodnoty jsem dále upravil podle výše zmíněného grafu tak, aby vznikla pouze minimální ztráta použitelných dat a zároveň aby nebyl přebytek nepoužitelných dat. Na obrázku č.9 je zeleně zobrazen západ a východ slunce. Fialově je ohraničen prostor, kde se ukládají data. Tento prostor během většiny roku přesahuje hranici západu a východu slunce. Je to z důvodu, že zelené čáry nezobrazují začátek, ale konec

civilního svítání a začátek civilního soumraku. Tudíž za hranicemi zeleného prostoru se ještě nachází civilní, námořní a astronomický soumrak a to stejné platí pro svítání. Během těchto fází soumraku a svítání mohou být kondenzační stopy za určitých podmínek stále dobře viditelné.

Mým záměrem bylo zohlednit také hustotu provozu během roku, avšak nenašel jsem k tomu použitelné podklady. Bylo by tedy nutné provést celoroční měření pro zjištění, jak se v jednotlivých ročních dobách mění hustota provozu v oblasti Děčína, což přesahuje hranice této práce. Proto jsem hustotu provozu nebral v úvahu.

Tabulka č.5 – Rozdělení roku podle ukládání dat z kamer

Segment	Měsíc	Začátek ukládání dat (UTC)	Konec ukládání dat (UTC)
1	Únor	04:30	17:30
	Březen		
	Duben		
2	Květen	02:50	19:30
	Červen		
	Červenec		
3	Srpen	04:30	17:30
	Září		
	Říjen		
4	Listopad	06:30	15:50
	Prosinec		
	Leden		



Obrázek č.9 – Graf rozdělení roku na čtyři segmenty¹⁴

Zeleně – konec civilního svítání a počátek civilního soumraku (UTC)

Fialově – hranice ukládání dat kamer (UTC)

Modře – počátek civilního soumraku v místním čase

Oranžově – konec civilního svítání v místním čase

6. STAV SYSTÉMU PO OPTIMALIZACI

6.1 Stávající stav kamer

Změny v rámci optimalizace byly provedeny a kamery jsou namířeny na svoje nové cíle. Původní a stávající stavy kamer jsou popsány níže. Dále byla provedena optimalizace doby, kdy se archivují data z kamer. Také byly navrženy dvě možnosti sběru dat. Obě možnosti se shodují se záběry kamer.

Kamera č.1 byla původně nastavená přímo na východ a zabírala velice vzdálený prostor daleko od prostoru sběru dat. Stávající nastavení kamery je do magnetického směru 107°. Kamera zabírá navigační bod RAVKU, který je křížením letových cest N869 a M725. V záběru se nachází také letová cesta L858. Celý záběr kamery je nyní v prostoru sběru dat.

Kamera č.2 zůstala během procesu optimalizace nezměněná. Její severozápadní zaměření na navigační bod OMELO a letovou cestu L620 je ideální. Jediná změna se týká prostoru sběru dat, který byl přizpůsoben celému záběru této kamery.

Kamera č.3 byla původně nastavená severovýchodně a částečně na letovou cestu N869. Celý záběr se nacházel mimo prostor sběru dat. Stávající nastavení této kamery je do magnetického směru 140° a zabírá křížení letových cest N869 a L620. Prostor sběru dat byl přizpůsoben tak, aby se v něm nacházel celý záběr kamery.

6.2 Srovnávací měření

Aby se dokázalo, že k optimalizaci skutečně došlo, rozhodl jsem se provést srovnávací měření. Srovnávací měření spočívalo v tom, že jsem provedl stejné měření před a po optimalizaci. První měření jsem provedl 28.03.2017 a druhé měření 19.05.2017. Jednalo se o měření desetihodinového intervalu od 06:00 UTC do 16:00 UTC. Během měření jsem sledoval zároveň záznamy kamer a radarovou internetovou aplikaci flihtadar24⁹. Zaznamenával jsem letadla, která proletěla záběry kamer a letěla v letové hladině 250 a výš. Nasbíraná data jsem vložil do tabulky č.6. Data jsem rozdělil do tří kategorií. V první kategorii "*Použitelné průlety letadel*" jsou letadla, která ve stejnou chvíli proletí záběrem a i prostorem sběru dat. V druhé kategorii "*Částečně použitelné průlety*" jsou letadla, která proletí záběrem, ale prostorem sběru dat proletí v jiný čas. V třetí kategorii "*Nepoužitelné průlety letadel*" jsou letadla, která proletí záběrem kamery, ale prostorem sběru dat neproletí vůbec. Dále jsou

v tabulce znázorněny celkové součty těchto tří kategorií pro všechny tři kamery dohromady. Na závěr je uveden součet použitelných a částečně použitelných průletů letadel.

Tabulka č.6 – Srovnávací měření

PRVNÍ MĚŘENÍ			
28.03.2017			
(06:00 – 16:00 UTC)			
Číslo kamery	Použitelné průlety letadel	Částečně použitelné průlety	Nepoužitelné průlety letadel
Kamera č.1	0	52	44
Kamera č.2	65	0	3
Kamera č.3	0	3	40
Celkem:	65	55	87
Celkový počet použitelných a částečně použitelných průletů:			130
DRUHÉ MĚŘENÍ			
19.05.2017			
(06:00 – 16:00 UTC)			
Číslo kamery	Použitelné průlety letadel	Částečně použitelné průlety	Nepoužitelné průlety letadel
Kamera č.1	85	0	0
Kamera č.2	75	0	0
Kamera č.3	112	0	0
Celkem	272	0	0
Celkový počet použitelných a částečně použitelných průletů:			272

6.3 Shrnutí optimalizace

Jak je zřejmé z tabulky č.6, optimalizace systému měření kondenzačních stop proběhla úspěšně. Počet použitelných průletů letadel se čtyřnásobně zvýšil. Avšak nestačí jen porovnat počet letadel před a po změně kamer. Optimalizace byla zcela jistě úspěšná, ale hraje zde roli více aspektů než jen samotné počty letadel. Jedním z těchto aspektů je, že měření byla provedena se čtyřicetidenní prodlevou. Tudíž během druhého měření již mohl provoz letadel s blížícím se létem stoupnout. Vliv také může mít to, že měření byla provedena v různé dny v týdnu. První měření bylo provedeno v úterý a druhé v pátek. Každopádně změnu, ať už byla způsobena čímkoliv, můžeme sledovat na kameře č.2, která

zůstala nezměněná. Počet průletů letadel jejím záběrem vzrostl z 65 na 75, tudíž o 15%. Původ tohoto vzrůstu se nedá jen tak určit, opět by bylo potřeba dlouhodobé sledování, které přesahuje meze této práce. Proto se v závěru nechci tolik zaměřit na naměřená čísla, ale obecně na provedené změny a ještě jednou na samotné kamery. Z tabulky č.6 plyne, že provedené změny zcela eliminovaly nepoužitelná a částečně použitelná letadla. Všechna letadla, která se objeví v záběru jakékoliv kamery se mohou použít k budoucímu studiu, jelikož o nich budou uloženy záznamy ze systému ADS-B. Toho jsem dosáhl díky úpravě prostoru sběru dat tak, aby obsahoval prostory zabírané kamerami. Dále byla provedena úprava časového intervalu, kdy se záběry z kamer archivují. Touto změnou se zredukovaly redundantní uložené záběry a zároveň maximalizovaly použitelné uložené záběry. Optimalizace kamer byla úspěšná, ačkoliv trvala delší dobu, než bylo očekáváno. Zlepšení bylo dosaženo u všech tří kamer. Zlepšení u kamery č.2 bylo nejmenší, jelikož její původní nastavení bylo velice dobré. Jediné zlepšení, které bylo pro tuto kameru možné udělat, bylo překrytí prostoru sběru dat s celým záběrem kamery. Tím se eliminovaly nepoužitelné záběry letadel, které byly při prvním srovnávacím měření zaznamenány. Zlepšení u kamery č.1 bylo značnější než u kamery č.2. Hlavní změnou bylo zredukování zbytečného záběru následované přizpůsobením kamery prostoru sběru dat. Přizpůsobení prostoru sběru dat umožnilo využít pro sledování další dvě letové cesty navíc. Původní nastavení sice zabíralo mnohem větší prostor s více letovými cestami, ale všechny se nacházely ve velké vzdálenosti a bylo těžké je sledovat i za ideálních podmínek. Záběr jsem tedy zredukoval na tři letové cesty, které jsou v rozumné vzdálenosti od Děčína a všechna data o letadlech z těchto tří cest jsou ukládána. Jako poslední je kamera č.3, u které bylo dosaženo největší zlepšení. Původní nastavení částečně zabíralo letovou cestu mimo prostor sběru dat a její záběry byly tudíž nevyužitelné. Současně je kamera nastavena na křížení dvou letových cest uvnitř prostoru sběru dat. Obě tyto letové cesty jsou celkem vytížené a proto na této kameře byl zaznamenán největší počet letadel ze všech tří kamer. Tato kamera se po optimalizaci změnila z nejméně užitečné na nejvíc užitečnou. Téměř všechna letadla, která proletí kamerou č.2, se po chvíli objeví na kameře č.3. To stejné platí pro kameru č.1. Alespoň polovina letadel, která záběrem kamery č.1 proletí, se během několika sekund objeví na záběru kamery č.3 a naopak. Letadla se dají na kamerách přehledněji sledovat a dá se odhadovat, jakou kameru je potřeba kdy sledovat.

ZÁVĚR

Úvodní části této bakalářské práce sloužily k seznámení s problematikou kondenzačních stop a jejich měření a popsaly systém monitorování kondenzačních stop ČVUT Fakulty dopravní. Cílem této bakalářské práce bylo popsat, v jakém stavu se tento měřicí systém nachází a pokusit se ho vylepšit v co nejvíce směrech. Tohoto cíle bylo úspěšně dosaženo během několika měsíců. Původní stav systému byl takový, že kamery byly nastaveny na oblohu v okolí Děčína do směrů, kde se zdál největší letový provoz. Prostor sběru dat byl nastavený jako obdélníkový prostor okolo Děčína. Tyto dvě složky systému však nebyly vzájemně sesouhlaseny. Po zjištění výchozího stavu kamer a porovnání s prostorem sběru dat vyšlo najevo, že záběry kamer a prostor sběru dat se překrývají nedostatečně. Pouze záběr kamery č.2 se z větší části nacházel v prostoru dat. Nastavení této kamery se již neměnilo, jelikož mířila přímo na letovou cestu. Pouze se přizpůsobil prostor sběru dat, aby se v něm nacházel celý záběr kamery. Záběry kamer č.1 a č.3 sice zabíraly letové cesty, ale nacházely se celé mimo prostor sběru dat. Po důkladném prostudování letového provozu v okolí Děčína jsem se rozhodl obě tyto kamery zaměřit na nové cíle. Z důvodu maximálního počtu zabraných letadel jsem se rozhodl obě kamery zaměřit na křížení různých letových cest v okolí Děčína. Kamera č.3 momentálně zabírá dvě křížící se letové cesty a kamera č.1 zabírá tři letové cesty a jedno jejich křížení. Obě tyto kamery byly nastaveny tak, aby se alespoň částečně shodovaly s prostorem sběru dat. Dalším krokem v optimalizaci bylo upravit prostor sběru dat tak, aby se v něm nacházely všechny tři celé záběry kamer. Nakonec vznikly dva návrhy, jak by prostor sběru dat mohl být upraven. Oba návrhy splnily podmínku a obsahují všechny záběry kamer a liší se pouze ve složitosti jejich implementace a množstvím nevyužitelných dat. Poslední změnou, která byla na systému provedena, bylo upravení časových omezení ukládání záběrů kamer. Celý kalendářní rok jsem rozdělil na čtyři různá období s různými časovými restrikcemi pro začátek a konec ukládání dat. Snahou bylo tyto časové restrikce navrhnout tak, aby se zároveň ukládalo co největší množství použitelných dat a co nejmenší množství nepoužitelných dat. Jelikož se však denní a noční cyklus během roku značně mění, nebylo možné se ztrátě použitelných dat a ukládání nepoužitelných dat zcela vyhnout.

Po všech provedených změnách bylo nutno vykonat srovnávací měření, aby se ověřilo, v jaké míře bylo dosaženo zlepšení. V rozmezí měsíce bylo provedeno měření před a po provedených změnách a výsledky obou měření byly porovnány. Ze srovnání měření plyne, že bylo dosaženo značného zlepšení pro kamery č.1 a č.3. Celkový počet použitelných průletů se několikanásobně zvýšil a prostor sběru dat byl přizpůsoben záběrům z kamer. To znamená, že všechna letadla, která se objeví v záběru jakékoliv kamery, by měla být bez

vyjímky dohledatelná v uložených záznamech ze systému ADS-B. Vytvořené schémata by měli pomoci vytvořit si lepší přehled o stavu systému.

Na závěr bych rád poděkoval všem autorům použité literatury. Také bych rád poděkoval autorům použitých softwarů, za možnost využití jejich software a tím usnadnění mojí práce.

Mezi použitý software patří: Photoscape X, Applemaps, Flightradar24 a Microsoft Word.

POUŽITÉ ZDROJE

- 1) Bulletin of the American Meteorological Society. Boston: American Meteorological Society, 2010, Contrail Microphysics . ISSN 0003-0007.
- 2) HOSPODKA, Jakub a Stanislav PLENINGER. Vliv letecké dopravy na atmosféru: problematika začlenění leteckých společností do EU ETS. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2015. ISBN 978-80-01-05824-4.
- 3) Meteorology. 6th ed. Oxford: Oxford Aviation Academy, 2011. ISBN 9781906202583.
- 4) PENNER, Joyce E., David H. LISTER, David J. GRIGGS, David J. DOKKEN a Mack MCFARLAND. IPCC Special Report - Aviation and the Global Atmosphere: Summary for Policymakers [online]. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 1999. Dostupné také z: <http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/av-en.pdf>
- 5) Bulletin of the American Meteorological Society. Boston: American Meteorological Society, 2010, Global Modelling of the Contrail and Contrail Cirrus Climate Impact. ISSN 0003-0007.
- 6) Bulletin of the American Meteorological Society. Boston: American Meteorological Society, 2010, Contrails and Induced Cirrus. ISSN 0003-0007.
- 7) INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. ICAO Environmental Report 2016: Aviation and Climate Change. Montreal, 2016. Dostupné také z: <http://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ICAO%20Environmental%20Report%202016.pdf>
- 8) Gatwick Aviation Society: Mode S Look Up [online]. London: GAS [cit. 2017-06-15]. Dostupné z: <http://www.gatwickaviationsociety.org.uk/modeslookup.asp>
- 9) Flightradar24. Flightradar24 - Live air traffic [online]. Stockholm, 2010 [cit. 2017-02-17]. Dostupné z: <https://www.flightradar24.com>
- 10) LÁN, Sébastien. Vznik a analýza kondenzačních stop letadel. Praha, 2017. Diplomová. ČVUT

- 11) Amatérská meteostanice v Děčíně. Amatérská meteostanice v Děčíně:
Oblačnost [online]. Děčín, 2000 [cit. 2017-06-10]. Dostupné z: <http://www.pocasi-decin.cz/oblacnost.php>

- 12) EUROCONTROL: FREE ROUTE AIRSPACE [online]. Brussels: EUROCONTROL, 2016
[cit. 2017-06-10]. Dostupné z: <http://www.eurocontrol.int/articles/free-route-airspace>

- 13) Letová Informační Příručka [online]. ŘLP, ČR, 2017 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z:
http://lis.rlp.cz/ais_data/www_main_control/frm_cz_aip.htm

- 14) Sunrise-Sunset: Sunrise and sunset times [online]. Sunrise-Sunset, 2017 [cit. 2017-06-10]. Dostupné z: <https://sunrise-sunset.org/search?location=Děč%C3%ADn%2C+Czechia>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č.1	Celosvětová dsitribuce RF způsobená leteckou dopravou z 2002.....	13
Obrázek č.2	Složení ADS-B zprávy.....	17
Obrázek č.3	Implemetnace FRA ke konci roku 2021.....	22
Obrázek č.4	Letecký provoz v oblasti Děčína.....	25
Obrázek č.5	Prostory zabírané kamerami.....	28
Obrázek č.6	Pozice kamer vzhledem k letovým cestám.....	31
Obrázek č.7	Varianta A prostoru sběru dat.....	34
Obrázek č.8	Varianta B prostoru sběru dat.....	35
Obrázek č.9	Graf rozdělení roku na čtyři segmenty.....	38

SEZNAM TABULEK

Tabulka č.1	Body původního prostoru sběru dat.....	23
Tabulka č.2	Body nahrazující původní bod A.....	29
Tabulka č.3	Body prostoru varianty A.....	32
Tabulka č.4	Body prostoru varianty B.....	33
Tabulka č.5	Rozdělení roku podle ukládání dat z kamer.....	37
Tabulka č.6	Srovnávací měření.....	40