



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Tomáš Noskivič

NÁSTROJE ŘÍDÍCÍCH LETOVÉHO PROVOZU

Bakalářská práce

2016



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):

Tomáš Noskievič

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – LED – Letecká doprava

Název tématu (česky): **Nástroje řídicích letového provozu**

Název tématu (anglicky): Air Traffic Control Officers ' Tools

Zásady pro vypracování

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

- Účel řízení letového provozu
- Náplň práce řídicích letového provozu
- Nástroje řídicích letového provozu
- Vyhodnocení přínosnosti nástrojů a návrhy na zlepšení

- 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: COOK, Andrew. European Air Traffic Management: Principles, Practice and Research Aldershot: Ashgate, 2007.
KULČÁK, Ludvík a kol. Air traffic management. Brno: CERM, 2002. 314 s., [10] s. obr. příl. ISBN 80-7204-229-7.
Eurocontrol. Specification for MTCD, 2010.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jakub Kraus**
Ing. Stanislav Pleninger, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: **25. října 2015**
(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: **25. srpna 2016**
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.

Tomáš Noskievič
jméno a podpis studenta

V Praze dne 25. října 2015

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Ing. Jakubu Krausovi za odborné vedení práce a čas věnovaný konzultacím. Dále děkuji řídicím letového provozu, pánům Ing. Milanu Korábovi, Mgr. Stanislavu Mrázkovi z ŘLP ČR a panu Berndu Anzlingerovi z Deutsche Flugsicherung za velice ochotné poskytnutí cenných informací potřebných pro vznik této práce. Mgr. Stanislavu Mrázkovi také děkuji za umožnění vstupu do letecké školy a do IATCC v Jenči. Za jazykovou korekturu práce děkuji Mgr. Jaroslavě Indrové. V neposlední řadě děkuji všem svým přátelům a rodině za podporu během celého studia.


Prohlášení

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

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.

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).

V Praze dne 24. srpna 2016



.....
podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

NÁSTROJE ŘÍDÍCÍCH LETOVÉHO PROVOZU

bakalářská práce

srpen 2016

Tomáš Noskievič

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce „Nástroje řídicích letového provozu“ poskytuje ucelený a přehledný materiál, který popisuje nejnovější nástroje a systémy využívané řídicími letového provozu a navrhuje zlepšení do dalšího vývoje těchto nástrojů. Práce se věnuje také historii vývoje profese řídicího a tuto profesi popisuje.

Klíčová slova: řízení letového provozu, predikce trajektorie, střednědobá detekce konfliktů, záchranné sítě.

ABSTRACT

This bachelor thesis „Air Traffic Control Officers' Tools“ provides a comprehensive and organized material, which describes the newest tools and systems used by air traffic control officers (ATCOs) and it proposes improvements for further research. The thesis also briefly shows the development of ATCO profession and describes the profession itself.

Key Words: Air Traffic Control, Trajectory Prediction, Medium Term Conflict Detection, Safety Nets.

Obsah

Obsah.....	4
Seznam použitých zkratk 7	7
1 Úvod.....	9
2 Náplň práce řídicích letového provozu.....	12
2.1 Letové provozní služby.....	12
2.2 Řízení letového provozu.....	12
2.3 Letištní řídicí věž (TWR).....	13
2.4 Přibližovací stanoviště řízení (APP).....	13
2.5 Oblastní středisko řízení (ACC).....	13
2.5.1 Plánující řídicí.....	14
2.5.2 Výkonný řídicí.....	14
2.5.3 Zobrazení letadla na obrazovce.....	15
3 Nástroje řídicích letového provozu.....	16
3.1 Programy SESAR a EATCHIP.....	16
3.2 Predikce trajektorie.....	17
3.2.1 Zdroje dat pro predikci trajektorie.....	18
3.2.2 Dělení trajektorií.....	19
3.2.2.1 Plánovaná trajektorie.....	19
3.2.2.2 Taktická trajektorie.....	19
3.2.3 Výzkumné lety.....	19
3.3 Medium Term Conflict Detection.....	20
3.3.1 Nástroje k vyhledávání konfliktů využívané v současné době.....	20
3.3.1.1 SepTool.....	20
3.3.1.2 Speed Vector.....	20
3.3.1.3 Measuring Vector.....	20
3.3.2 MTCD jako plánovací nástroj.....	21

3.3.3	Vstupní zdroje.....	21
3.3.4	Typy konfliktů.....	22
3.3.4.1	Letadlo – Letadlo	22
3.3.4.2	Letadlo – Vzdušný prostor	23
3.3.5	Vyšetření konfliktu	23
3.3.6	Vývoj a testování MTCD	25
3.3.7	Implementace MTCD.....	26
3.3.7.1	Deutsche Flugsicherung	26
3.3.7.2	NATS.....	27
3.4	Arrival Manager	28
3.4.1	Obecné principy AMANu	28
3.4.2	Zpracování	28
3.4.3	Výstup systému AMAN	29
3.4.4	Ovládání systému	30
3.4.5	Arrival Manager - FDPS s omezenými funkcemi pro řízení přiletů	30
3.4.6	Point Merge System	30
3.5	Departure Manager.....	32
3.5.1	Pojmy a jejich definice	32
3.5.2	Charakteristika DMAN	34
3.5.3	Zavedení systému DMAN	35
3.6	Safety Nets.....	36
3.6.1	Short Term Conflict Alert	36
3.6.1.1	Vstupy a výstupy STCA	37
3.6.1.2	Vyšetření konfliktu	37
3.6.1.3	Současné využívání STCA	38
3.6.2	Minimum Safe Altitude Warning.....	38
3.6.2.1	Vstupy a výstupy MSAW	38
3.6.2.2	Konfigurace MSAW s využitím polygonů	39

3.6.2.3	Konfigurace MSAW s využitím satelitních dat.....	39
3.6.2.4	Vyšetření konfliktu	40
3.6.3	Area Proximity Warning	40
3.6.3.1	Druhy APW.....	40
3.6.3.2	Vstupy a výstupy APW	41
3.6.3.3	Parametry APW, definice prostorů.....	41
3.6.3.4	Vyšetření konfliktu	41
4	Vyhodnocení přínosnosti nástrojů a návrhy na zlepšení	42
5	Závěr	44
6	Použité zdroje.....	45
6.1	Literatura	45
6.2	Internetové zdroje.....	45
6.2.1	Elektronické články.....	45
6.2.2	Ostatní internetové zdroje.....	47
7	Seznam obrázků.....	49

Seznam použitých zkratk

ACC	Area Control Centre	Oblastní služba řízení
AMAN	Arrival Manager	-----
AOBT	Actual Off-Block Time	-----
APP	Approach Control Services Centre	Přibližovací služba řízení
APW	Area Proximity Warning	-----
ASAT	Actual Start Up Approval Time	-----
ATC	Air Traffic Control	Řízení letového provozu
ATCO	Air Traffic Control Officer	-----
ATM	Air Traffic Management	-----
ATOT	Actual Take Off Time	-----
BADA	Base of Aircraft Data	-----
CAIT	Controlled Airspace Infringement Tool	
CDG	-----	letišť Charlese de Gaulla v Paříži
CTOT	Calculated Take Off Time	-----
DAIW	Danger Area Infringement Warning	-----
DFS	Deutsche Flugsicherung	-----
DMAN	Departure Manager	-----
EATCHIP	European Air Traffic Control Harmonisation and Integration Programme	
EOBT	Estimated Off-Block Time	-----
ERBP	Expected Runway Delay Buffer	-----
ERWP	Expected Runway Waiting Period	-----
ESWP	Expected Stand Waiting Period	-----
EXOP	Expected Outbound Taxi Period	-----
EXOT	Estimated Taxi Out Time	-----
FDPS	Flight Data Processing System	-----
IATCC	Integrated Air Traffic Control Centre	-----
ICAO	International Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
iFACTS	Interim Future Area Control Tools Support	-----
IFR	Instrument Flight Rules	-----
ILS	Instrument Landing System	-----
LPS	-----	Letové provozní služby

MSAW	Minimum Safe Altitude Warning	-----
MTCD	Medium Term Conflict Detection	-----
MUAC	Maastricht Upper Area Control Centre	-----
NDB	Non-Directional Beacon	-----
NORACON	North European and Austrian Consortium	-----
P-RNAV	Precision-Area Navigation	-----
RAI	Restricted Area Intrusion	-----
RDPS	Radar Data Processing System	-----
ŘLP ČR	-----	Řízení letového provozu České republiky
SES	The Single European Sky	-----
SESAR	Single European Sky ATM Research	-----
SID	Standard Instrument Departure	-----
SOBT	Scheduled Off-Block Time	-----
SPIN	Safety Nets: Planning Implementation & Enhancements	-----
STAR	Standard Terminal Arrival Route	-----
STCA	Short Term Conflict Alert	-----
TMA	Terminal Manoeuvring Area	Koncová řízená oblast
TOBT	Target Off-Block Time	-----
TSAT	Target Start Up Approval Time	-----
TTOT	Target Take Off Time	-----
TWR	Tower Control Centre	Letištní služba řízení
UAC	Upper Area Control Centre	-----
VFR	Visual Flight Rules	-----
VOR	Very High Frequency Omnidirectional Radio Range	-----

1 Úvod

Letecká doprava v dnešní době by bezesporu nemohla fungovat bez služeb řízení letového provozu. Vzdušné cesty jsou zaplněny letadly, která se pohybují různými rychlostmi, a je nezbytně nutné zajistit jejich rozestupy. Je ale jasné, že v roce 1903, kdy se uskutečnil první vzlet letounu Flyer bratrů Wrightových, ještě žádné služby řízení nefungovaly, a vznikly až později společně s nárůstem letecké dopravy. Proto se budu v úvodní kapitole své práce věnovat vývoji jedné z nejmladších profesí - řízení letového provozu.

Řízení letového provozu se skromně zrodilo na malých letištích. Nezažilo rychlý vzestup, ale vyvíjelo se postupně – a to v různých podmínkách a na různých místech odlišně – přesto však principy zůstaly stejné. Na počátku dvacátého století, který se nesl ve znamení jmen Wrightových a jejich Flyerů, nebylo nutné sestavovat letové plány a žádat o povolení k letu. Principy vizuální navigace byly dostačující. Létalo se na základě pravidla „vidět a být viděn“ – tzn. let mohl proběhnout pouze, pokud pilot měl šanci vidět ostatní provoz a případně změnit svou trasu, aby se kolegům ve vzduchu vyhnul. Podmínky takového létání stanovily, že se nesmí létat v oblacích a minimální dohlednost jsou alespoň tři míle. Toto je základ dnešního VFR létání. S neustále se zhušťujícím provozem na letištích bylo řízení přistávajících a startujících letadel svěřeno řídícím letového provozu. Takový řídící stál na okraji přistávací plochy a pomocí různě barevných praporů dával pokyny pilotům. Například zelený prapor povoloval start/přistání, naopak červená barva znamenala vyčkávání, dokud řídící nevyhodnotil situaci jako bezpečnou a nezamával zeleným praporem. Prapory byly zanedlouho nahrazeny světelnými puškami.

Vývoj letadel byl hnán dopředu vlivem první světové války. Právě krátce po jejím konci si lidé uvědomili, že provozování letecké dopravy může být kvalitním zdrojem příjmů. Nejstarší letecká společnost světa, která létá dodnes – Koninklijke Luchtvaart Maatschappij (KLM) – byla založena krátce po konci války v roce 1919.

Letecké společnosti potřebovaly znát polohu letadel během letu, aby se v případě nehody mohla dostat pomoc k havarovanému letadlu co nejrychleji. Toto je také další důvod pro sledování a řízení letového provozu. K velkému posunu přispěla letecká nehoda, která se stala 7. dubna 1922 nad Francií, při níž došlo ke střetu dvou komerčních letadel. Po této nehodě byla změna nutná: v roce 1927 byla stanovena povinnost vybavit letadlo rádiem a byly stanoveny letové tratě, které měli piloti mezi západní Evropou (Amsterdam, Brusel, Paříž) a Londýnem vizuálně následovat. Londýnským cílem bylo letiště Croydon, které čelilo nárůstu dopravy. V takové situaci již bylo nezbytně nutné, aby někdo určoval časy odletů letadel. Přesto došlo k dalšímu incidentu, a to ke střetu přilétávajícího letadla s odlétávajícím.

Výsledkem nehody byla povinnost odlétajících letadel vyčkat na povolení ke vzletu, které bylo uděleno již zmíněnými prapory. Aby byl tento pokyn zřetelný z celého letiště, byla postavena letištní věž, kde řídící také zaznamenávali polohu letadla barevnými špendlíky na mapě. Polohu určovali na základě zpráv přijatých od pilota – tzv. procedurální řízení a také na základě svých výpočtů. Špendlíky byly opatřeny štítky s údaji o výšce letu a volacím znakem. Byli tak schopni upozornit piloty na hrozící nebezpečné sblížení s jiným strojem.

Ve Spojených státech byla velká města spojena sítí nízkofrekvenčních rádiových majáků a v roce 1929 bylo představeno přístrojové létání. Byla stanovena pravidla tohoto typu létání a od roku 1933 bylo možné lety IFR provozovat. Fakt, že letadla mohla létat v nepříznivém počasí a v noci, podporoval vznik pravidel pro řízení letového provozu a vznik řídicích center např. v Newarku nebo Chicagu. Zanedlouho začali řídící používat papírové proužky. Od roku 1938 byli piloti povinni respektovat veškeré instrukce řízení letového provozu. V roce 1942 bylo ve Spojených státech asi 500 řídících, kteří obsluhovali více než 40 000 NM letových tratí.

Mezi prvními evropskými státy, které zavedly moderní technologie pro řízení letového provozu, bylo Nizozemí. Veliký rozmach rádiové techniky nastal během druhé světové války. Na druhou stranu bylo letiště Schiphol během války úplně zničeno a stanoviště pro řízení muselo začít úplně od začátku. Hlavním nástrojem pro řídící bylo rozsáhlé papírové plátno, na které se v horizontálním směru znázorňovala vzdálenost letadla od letiště Schiphol, a na vertikální ose se pak vykresloval čas do přistání. V roce 1952 Nizozemí jako první v Evropě zavedlo tratě namísto přímého směřování. O rok později byl nainstalován nový radar, jehož zavedení umožnilo zvýšení příletů na Schiphol z deseti na pětadvacet za hodinu.

Protože se letadla vyvíjela dále – začala létat rychleji a výše, byla funkce radarů nedostatečná a bylo třeba zavést radary nové, s delším dosahem tak, aby pokryly nové tratě a zároveň dosáhly do vyšších hladin, ve kterých nová proudová letadla létala. Hranice horního řízeného vzdušného prostoru byla zvednuta z 15 000 ft na 25 000 ft. Postupně se začaly nahrazovat zařízení NDB zařízeními VOR. To již uspokojilo základní požadavky nizozemského řízení letového provozu, aby mohlo bezpečně navádět letadla po letových tratích mimo oblasti vojenského provozu a poskytnout finální vektorování na přiblížení. Nově byly také zavedeny postupy pro vyčkávání na vstupních bodech do TMA a nové přístrojové příletové (STAR) a odletové (SID) tratě. Nizozemští řídící byli také první, kdo zavedl systém práce řídících ve dvojicích, které byly tvořeny vždy plánujícím řídícím a výkonným řídícím.

Vzhledem k velikému nárůstu letecké dopravy v 80. letech 20. století bylo zřejmé, že stávající systém ATC nemůže být při dalším předpokládaném rostoucím vývoji dostačující. Speciální komise (Special Committee on Future Air Navigation Systems) ICAO proto přišla

s myšlenkou implementování satelitní navigace do civilního letectví. Zejména dva hlavní cíle jsou stanoveny pro použití v en-route vzdušných prostorech: 4D navigace a delegace zodpovědnosti za zajištění rozestupů letové posádky – tedy používání koncepce „free flight“. Dále jsou vysloveny požadavky, které budoucí systémy ATM musí splňovat:

- nadále zlepšovat bezpečnost ATM a zároveň vyhovět rostoucímu trendu letecké dopravy;
- zvýšit efektivitu ATM;
- přispívat k zajištění bezpečnosti z hlediska security;
- přispívat k ochraně životního prostředí;
- optimálně využívat kapacitu tak, aby při rostoucím provozu nedocházelo ke tvorbě zpoždění.

Možnost využití vzdušných prostorů s koncepcí „free flight“ umožní pilotům mít volnou ruku při výběru preferované trati. Implementace tohoto konceptu má v Evropě proběhnout v několika fázích. Nové přidělení zodpovědnosti za rozestupy ovlivní úkony řídicích i pilotů. Větší nezávislost letadel má díky novým technologiím zlepšit stávající systém fungování ATM. Převod zodpovědnosti za rozestupy ze dvou řídicích na několik pilotů má snížit pracovní zátěž právě řídicích letového provozu.

Kapacita sektoru ATC je definována jako maximální počet letadel, která vstoupí do sektoru za určitý časový okamžik, a zároveň umožní přijatelnou míru pracovní zátěže řídicího. Proto je důležité věnovat se snižování této zátěže formou zavedení nových pracovních metod a implementováním nových systémů. Mezi tyto systémy patří například střednědobá detekce konfliktů (MTCD) nebo systém predikce trajektorie. S pomocí těchto nástrojů má plánující řídicí napomáhat ke snižování zátěže výkonného řídicího, jehož zátěž je klíčová pro kapacitu sektorů ATC.

Cílem této bakalářské práce je poskytnout přehledný a ucelený materiál o nástrojích a systémech, které řídicí letového provozu používají k zajištění bezpečného a efektivního toku letadel, včetně těch, které jsou v současné době ve fázi implementace do provozu.

2 Náplň práce řídicích letového provozu

Řídicí letového provozu je jednoznačně důležitým a rozhodujícím členem celého procesu řízení letového provozu. Proto se budu v této kapitole věnovat popisu jednotlivých stanovišť řízení a také popisu úkolů, které mají řídicí na starosti.

2.1 Letové provozní služby

Dle předpisu L11 o letových provozních službách musí všechny smluvní státy určit části vzdušného prostoru a letišť, kde budou poskytovány letové provozní služby. Pokud stát nedeleguje odpovědnost za zřízení a poskytování těchto služeb na jiný stát, musí zajistit jejich poskytování v souladu s předpisem L11.

Letové provozní služby jsou tvořeny třemi důležitými službami, kterými jsou:

- služba řízení letového provozu;
- letová informační služba;
- pohotovostní služba.

Každá z uvedených částí LPS musí plnit své úkoly. Úkolem služby řízení letového provozu musí být:

- zabraňovat srážkám letadel;
- zabraňovat srážkám letadel na provozní ploše a s překážkami na této ploše;
- udržovat rychlý a spořádaný tok letového provozu.

Úkolem letové informační služby musí být:

- poskytovat rady a informace užitečné k bezpečnému a účinnému provádění letů.

A pohotovostní služba musí:

- vyrozumívat příslušné organizace a orgány o letadlech, po nichž se má pátrat nebo kterým se má poskytnout záchranná služba, a v případě potřeby spolupracovat s těmito orgány. [27]

Vzhledem k povaze této práce se dále budu věnovat pouze službě řízení letového provozu.

2.2 Řízení letového provozu

Jako nejdůležitější prvek letových provozních služeb má na starost zamezení srážek mezi letadly ve vzduchu, na zemi, mezi letadly a pozemními překážkami a zároveň při zachování bezpečnosti, efektivnosti zvládnout zrychlení toku letového provozu. Pro toto stanoviště je nezbytné, aby dostávalo informace o zamýšlených pohybech každého letadla, změnách a

také informace o skutečném průběhu letu. Z těchto informací musí určovat vzájemnou polohu letadel a vydávat jim letová povolení. V případě potřeby musí koordinovat letový provoz s jinými stanovišti.

2.3 Letištní řídicí věž (TWR)

Stanoviště TWR je obvykle umístěno v centru pohyblivých ploch letiště tak, aby umožňovalo řídicím nepřetržitý výhled na všechny pohybové plochy a okolí letiště.

Náplní práce řídicího na letištní věži je řídit přilétající a odlétající letadla a zajišťovat požadované rozstupy mezi nimi. Kromě toho musí dále sledovat aktuální počasí, zejména směr a rychlost větru, tlak vzduchu QNH – přepočtený na hladinu moře. V povinnostech řídicího je i zavádět provoz za snížené dohlednosti a ovládat světelné zabezpečovací zařízení.

Součástí stanoviště TWR je také pracoviště GROUND. Řídicí na tomto pracovišti je zodpovědný za bezpečné pojiždění letadel po pojižďecích drahách. Řídicí povoluje letadlům pojiždět a určuje dráhy, které má pro pojiždění letadlo využít. Nesmí však nikdy použít slovo „cleared“, jehož použití ve větě povolující pojiždění by si piloti mohli špatně vyložit a považovat ji tak zároveň za povolení ke vzletu.

Dalším pracovištěm je DELIVERY, které vydává letová povolení.

2.4 Přibližovací stanoviště řízení (APP)

Řídicí stanoviště APP musí zajistit rozstupy mezi odlétajícími letadly z letiště a přilétajícími k letišti. Tvar vzdušného prostoru, ve kterém se řídí letový provoz tímto stanovištěm, je závislý na směrech přistávacích drah, a tím pádem je v okolí každého letiště odlišný.

Na tomto stanovišti působí dvě pracoviště. Pracoviště APPROACH řídí přilétající a odlétající letadla a letadla prolétající řízeným prostorem. Po zajištění rozstupu odletů od příletů je přílet předán pracovišti DIRECTOR, který radarově vektoruje (přiděluje kursy) letadla do osy směrového majáku systému ILS.

Služba APP Praha sídlí ve středisku IATCC v Jenči společně s oblastním střediskem řízení.

2.5 Oblastní středisko řízení (ACC)

Ve stanovišti oblastního řízení se zajišťují rozstupy mezi letadly v letové informační oblasti rozdělené do jednotlivých sektorů. Tyto sektory jsou vymezeny jak horizontálně (př. sektor West, sektor North), tak vertikálně. Sektorizace letové informační oblasti je nutná zejména z důvodu snížení zátěže řídicích a tvoří se tak, aby byla zátěž rozdělena mezi řídicí různých

sektorů rovnoměrně. Podle velikosti provozu může vedoucí směny některé sektory sjednotit, nebo naopak rozdělit a obsadit dalšími řídicími.

Řídicí v rámci jednoho sektoru pracují v páru. Přestože se tento koncept může na různých střediscích lišit, obecně jde stále o stejný princip struktury pracoviště. Pár řídicích je tvořen výkonným řídicím a plánujícím.

2.5.1 Plánující řídicí

V zahraniční literatuře je označován jako „planner“ nebo také „strategic controller“. Jeho důležitým úkolem je sledovat provoz, který má vstoupit do jeho sektoru, a pro snížení zátěže kolegy – výkonného řídicího – má vyhledávat potenciální konflikty, které mohou nastat po vstupu letadel do jejich sektoru. V případě, že je potřeba určitým způsobem zasáhnout, aby nedošlo ke konfliktní situaci, plánující řídicí telefonicky kontaktuje řídicí v sousedním sektoru, ve kterém letadlo stále letí, a vyjedná změnu tak, aby letadlo do dalšího sektoru již vstoupilo například v nové letové hladině, ve které nebude tvořit konfliktní provoz. Není relevantní určovat, jak často musí k takové komunikaci s vedlejším sektorem docházet. Vše záleží na aktuální situaci ve vzdušném prostoru. Během dne se počet letadel logicky mění a tím se také mění potřeba sjednávat změny a koordinovat lety letadel. Obecně platí, že čím je hustší provoz, tím je větší pravděpodobnost, že bude potřeba kontaktovat sousední kolegy.

V posledních letech došlo k významným modernizacím oblastních středisek řízení letového provozu a jednou z hlavních novinek, které byly představeny, byla implementace elektronických proužků. Této inovaci ale předcházelo používání proužků papírových. V případě těch papírových byl to právě plánující řídicí, kdo měl na starost jejich kontrolu ihned poté, co se automaticky vytiskly. Planner zkontroloval, zda obsahují aktuální informace (například již po dohodnuté koordinaci), a zařadil je správně mezi další proužky do stojánku.

2.5.2 Výkonný řídicí

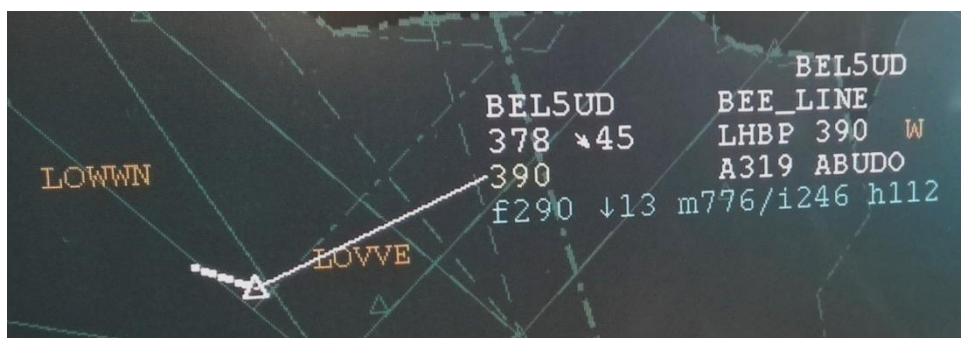
Vpravo vedle plánujícího řídicího sedí řídicí výkonný, neboli také taktický. Ten je zodpovědný za vedení komunikace s piloty. Přijímá letadla do svého sektoru, sleduje průběh jejich letu na radarové obrazovce tak, aby nedošlo k žádnému konfliktu, a případně zasáhne udělením příkazu pilotovi. Dovede letadlo k dalšímu sektoru, kde jej předá následujícímu řídicímu slovním sdělením nové frekvence a stiskem příslušného tlačítka na svém počítači ukončí činnost spojenou s tímto letadlem. Tímto dojde také k barevné indikaci na radarové obrazovce řídicího v sektoru, do kterého byl pilot předán, a nový řídicí tak již ví, že má očekávat přihlášení pilota ve svém sektoru.

V různých střediscích existují odlišná uspořádání těchto párů řídicích. Například v polském Polish Air Navigation Services Agency jsou plánující a výkonný řídicí dvě samostatně

licencované profese. Naopak v Řízení letového provozu ČR mají oba řídící stejnou licenci a ve výkonu dvou funkcí se střídají.

2.5.3 Zobrazení letadla na obrazovce

Řídící na radarové obrazovce vidí polohu letadla označenou patřičným popiskem, se kterým může řídící hýbat tak, aby bylo zobrazení stále přehledné. V základním zobrazení získává kromě volacího znaku informace pouze o letové hladině a rychlosti letadla. Řídící si ale může tento popisek „rozkliknout“, a rozšířit si jej tak o další informace. Na obrázku vidíme příklad rozšířeného popisku.



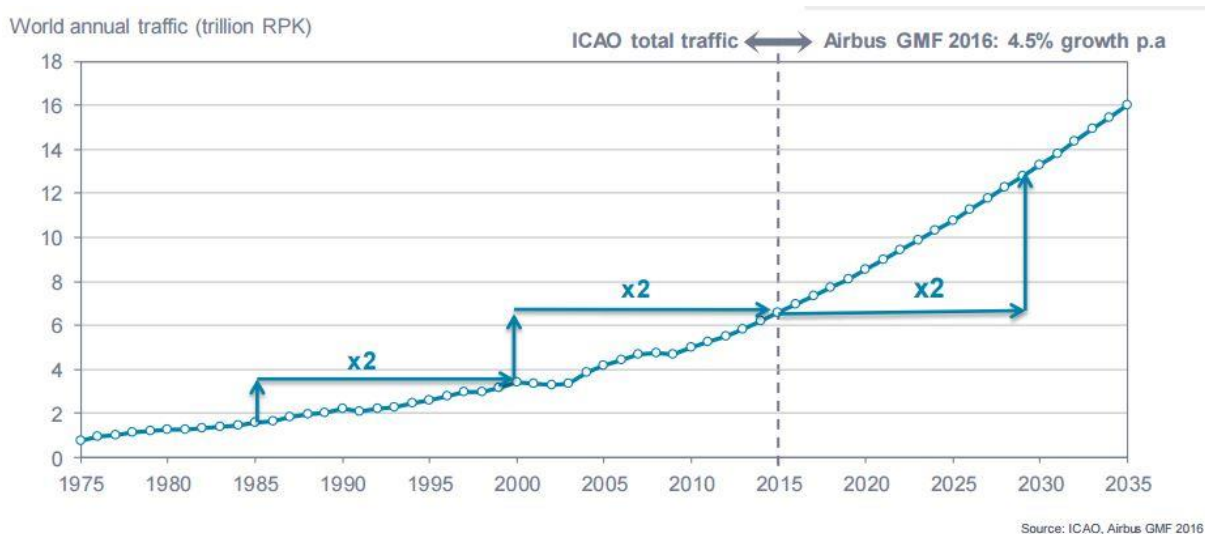
Obrázek 1 - Rozšířený popisek letadla na radarové obrazovce. [foto: autor]

V prvním řádku je zobrazen volací znak BEL5UD a v pravém sloupečku volací znak letecké společnosti tak, jak jej má řídící vyslovovat: BEE_LINE. Na druhém řádku pak vidíme aktuální letovou hladinu a rychlost vůči zemi. Ve druhém sloupci pak letiště určení a letovou hladinu schválenou v letovém plánu. Ve třetím řádku je zobrazena letová hladina, kterou zadal řídící do systému jako povolenou, a ve druhém sloupci typ letadla A319 a výstupní bod z daného sektoru. Poslední řádek zobrazuje informace získané z módu S: letovou hladinu zadanou na selektoru autopilota, vertikální rychlost s šipkou ukazující, zda jde o klesání či stoupání, rychlost podle Machova čísla, indikovanou rychlost a heading letadla. Jak je patrné z posledního řádku, pilot klesá do FL290, ale řídícím zadaná povolená hladina je FL390. Můžeme se tedy domnívat, že ve chvíli pořízení fotografie řídící ještě nezadal do systému novou povolenou hladinu, pilot však klesá na základě povolení, které již dříve obdržel. Pokud řídící novou hladinu nezadá, v případě její neshody s hladinou letadla se rozsvítí červená indikace.

3 Nástroje řídicích letového provozu

3.1 Programy SESAR a EATCHIP

Letecká doprava prochází v posledních desetiletích významnými změnami a nárůstem počtu pohybů letadel ve vzdušných prostorech. Současný systém řízení letového provozu funguje na přísně daných postupech, které mají pomoci řídicím pracovat tak, aby byla jejich pracovní zátěž optimální. S rostoucím počtem letadel na obloze se však tento systém dostává ke své hranici a je potřeba přijít s novými nástroji, které umožní současnou a předpovídanou expanzi letecké dopravy.



Obrázek 2 - Letecká doprava bude za 15 let dvojnásobná. [5]

Za účelem reformy evropského systému ATM byl v roce 2004 zahájen Evropskou komisí projekt The Single European Sky (SES). Hlavními cíli tohoto projektu je:

- restrukturalizovat evropský vzdušný prostor pro plynulejší tok letecké dopravy;
- zvýšit kapacitu evropského vzdušného prostoru;
- zvýšit celkovou efektivitu evropského ATM systému.

Technickou částí SES je Single European Sky ATM Research, který provádí výzkumy právě v oblasti managementu letecké dopravy.

Dalším projektem, který se podílí na inovaci ATM, je The European ATC Harmonization and Integration Programme (EATCHIP), který patří pod organizaci EUROCONTROL. V rámci tohoto programu dochází k vývoji nových pokročilých nástrojů pro ATM, mezi které patří:

- Medium Term Conflict Detection (MTCD);
- Arrival and Departure Manager;

- Safety Nets:
 - Short Term Conflict Alert (STCA);
 - Minimum Safe Altitude Warning (MSAW);
 - Area Proximity Warning (APW).

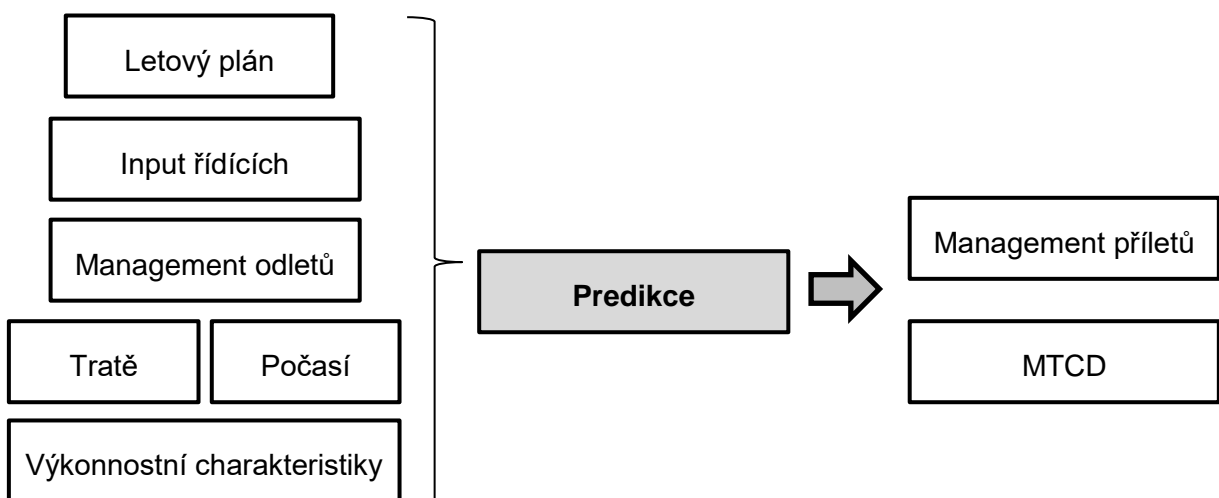
Hlavními cíli těchto nových nástrojů, které mají podporovat rozhodování řídicích letového provozu, je:

- časná detekce potenciálních problémů;
- nabídnout řídicím možnosti řešení problému a zobrazit je ve správnou chvíli;
- varování v případě hrozícího blízkého konfliktu.

Implementace uvedených nástrojů umožní uspokojení potřeb moderních vzdušných prostorů a nových filosofii air traffic managementu. Všechny tyto nástroje (kromě safety nets) mají důležitého společného jmenovatele, bez kterého by bylo zbytečné o jejich možnosti využití vůbec uvažovat: predikce trajektorie.

3.2 Predikce trajektorie

Sledování trajektorie letu letadel patřilo k profesi řídicího letového provozu už v jejím počátku. S vývojem technologií byli řídicí postupně schopni přesně určovat polohu letadla v horizontální a vertikální rovině a měli tedy k dispozici 3D trajektorie. V rámci reformy ATM se do práce s trajektorií letu vkládá ještě čtvrtá dimenze – čas. To umožní lépe předvídat chování letadel, lépe vyhodnocovat potenciální konflikty a optimálně řídit provoz přibližující se k letišti. Aby takový systém pro výpočet budoucí trajektorie letu mohl fungovat, potřebuje mnoho vstupních informací. Schéma je zobrazeno na obrázku 3.

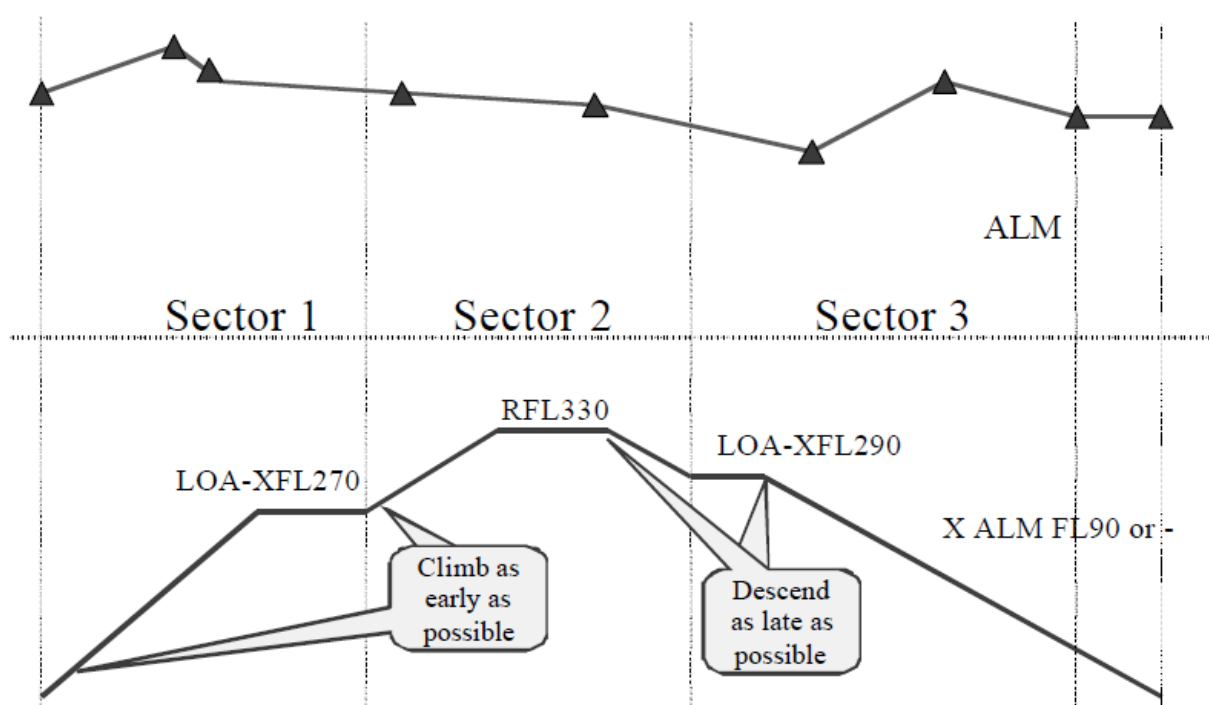


Obrázek 3 - Schéma predikce trajektorie.

3.2.1 Zdroje dat pro predikci trajektorie

Prvním podstatným zdrojem pro nástroj predikce trajektorie je samotný letový plán, který obsahuje údaje důležité pro systém, jako jsou typ letadla, letiště vzletu a určení, schválená trať, letová hladina, rychlost, Estimated Off Block Time. Systém musí obsahovat databázi letových tratí, traťových bodů, tratí pro standardní přístrojový odlet (SID) a pro standardní přístrojový přílet (STAR). Základním předpokladem pro prvotní určení trajektorie je, že letadlo poletí po trati stanovené letovým plánem. Vzletová dráha určená k provedení vzletu může být načtena i z programu pro management odletů. Během letu je nutná neustálá aktualizace pokynů řídicích, kteří do systému musí manuálně zadat aktuální povolení. Pokud například dojde ke změně letové hladiny, řídicí novou hladinu, která se liší od té v letovém plánu, zadá do systému, který již dále počítá trajektorii na základě tohoto údaje.

Při výpočtech vertikálních profilů trajektorie, tedy při stoupání a klesání, systém předpokládá nejefektivnější variantu, a to, že letadlo stoupá okamžitě, v letové hladině letí co nejdéle a začíná klesat co nejpozději (viz obrázek 4). Trajektorie ustáleného letu je pak mezi body Top of Climb a Top of Descent.



Obrázek 4 - Predikce trajektorie. Předpokládá se stoupání co nejdříve a klesání co nejpozději. [7]

Databáze má obsahovat i všechny dočasně vyčleněné vzdušné prostory a předpokládat let letadla po obletové trati okolo tohoto prostoru. Při přiblížení k letišti může nastat situace, kdy řídicí musí nechat letadlo vyčkávat v definovaném obrazci (přestože jedním z cílů moderního ATM je tato vyčkávání eliminovat). Do systému řídicí opět tuto situaci definuje manuálně a vyčkávací obrazec se tak projeví v dalších výpočtech trajektorie. V případě, že pilot musí

provést postup nezdařeného přiblížení, nástroj predikce automaticky (musí rozpoznat, že letadlo začalo stoupat v době, kdy mělo přistávat) nebo po zásahu řídicího zařadí definovanou trať pro nezdařené přiblížení pro danou přistávací dráhu do trajektorie letadla.

System musí také znát údaje o výkonnostních charakteristikách letadla. Parametry týkající se letové obálky, aerodynamiky, tahu a spotřeby paliva jsou čerpány z databáze EUROCONTROLu – Base of Aircraft Data (BADA). Pro výpočet přesné trajektorie se zadává také vzletová hmotnost letadla a uvažuje se změna hmotnosti během letu vlivem spotřeby paliva. To je spočítáno na základě charakteristik z BADA. Informace o aktuálních rychlostech letu jsou systémům řízení letového provozu již známy, například díky využívání módu S odpovídače letadla.

3.2.2 Dělení trajektorií

Definují se dva typy trajektorií, které se liší podle časového horizontu, do jaké doby je predikujeme.

3.2.2.1 Plánovaná trajektorie

Plánovaná trajektorie představuje nejpravděpodobnější průběh letu. Lze ji předpokládat v průběhu celé délky letu od vzletu po přistání. Je odvozena z plánované trati a vertikálního profilu dle letového plánu, z aktuální pozice a rychlosti letadla. Dá se považovat za spolehlivou reprezentaci pohybu letadla ve středně až dlouhodobém výhledu.

To, co snižuje její přesnost, jsou taktické zásahy řídicího letového provozu, a to zejména ty, u kterých není předem známa mez povolení. Takovéto *omezení* se nazývá *otevřené*. V případě *omezení uzavřených* jde například o příkaz k provedení změny směru definovaný traťovým bodem: „...proceed direct to point...“. Takto určený zásah řídicího je lépe předvídatelný a projeví se ve výpočtu plánované trajektorie.

3.2.2.2 Taktická trajektorie

Taktická trajektorie zobrazuje očekávaný průběh letu na základě všech stanovených povolení a příkazů od řízení letového provozu. V podstatě lze říci, že jde o plánovanou trajektorii opravenou o aktuální povolení řídicího. Taktická trajektorie je predikovatelná v časovém horizontu 5 až 10 minut.

3.2.3 Výzkumné lety

První let, na kterém byla predikce trajektorie testována, proběhl 10. února 2012 na trase z Toulouse do Kodaně a dále do Stockholmu. Testování 4D trajektorií proběhlo ve spolupráci EUROCONTROLu s firmami Airbus, Honeywell, Indra, Thales a s poskytovateli služeb řízení letového provozu MUAC a NORACON. První implementace systému v řídicích centrech se očekávají od roku 2018.

Predikce trajektorie umožní lépe plánovat toky provozu, které přilétají k letišti, protože trajektorie navíc k informaci o poloze obsahuje i informaci o čase, ve kterém letadlo této polohy dosáhne. To umožní snížit počet letadel, která musejí před přistáním vyčkávat, což má také pozitivní vliv na ekologické faktory, jako je zvýšený hluk v oblastech přilehlých k letišti. Predikce trajektorie umožní také vznik nových systémů pro vyhledávání potenciálních konfliktů mezi letadly. Tyto systémy jsou popsány v dalších kapitolách.

3.3 Medium Term Conflict Detection

Hlavním smyslem řízení letového provozu vždy bylo zabraňovat srážkám mezi letadly. Se zavedením radarů došlo k vývoji nových postupů a vytvoření pracovních míst pro plánující a výkonné dispečery, jejichž práce je podrobně popsána ve druhé kapitole této práce. Vývoj radarového řízení výrazně umožnil zvýšení kapacity systému řízení letového provozu oproti procedurálnímu řízení. Nicméně dnes dochází k dosažení limitů i této navýšené kapacity, kde hlavním omezujícím faktorem je výkonný řídící. Nově vyvíjený plánovací nástroj pro střednědobou detekci konfliktů (MTCDD) umožní plánujícímu řídícímu identifikovat problémy, které mohou nastat do časového horizontu dvaceti minut.

3.3.1 Nástroje k vyhledávání konfliktů využívané v současné době

V současné době softwary pro řízení letového provozu umožňují základní predikci trajektorie podle aktuální rychlosti a letového plánu. Další možností je zobrazení dráhy letadla, kterou uletí za určitý čas na svém aktuálním tracku.

3.3.1.1 SepTool

V řídicím středisku IATCC v Jenči u Prahy je součástí systému Eurocat 2000 takzvaný nástroj SepTool; jak lze vytušit, pochází ze slov Separation Tool. Plánující řídící využívá tento nástroj k manuálnímu vyhledávání konfliktů. Provede to tak, že zvolí dvě letadla, a systém zobrazí průběh jejich předpokládané trajektorie ve směru aktuálního tracku. V místě největšího sblížení těchto trajektorií zobrazí vzdálenost v námořních mílích, která určuje minimální rozestup.

3.3.1.2 Speed Vector

Dále řídící může využít možnosti nechat si zobrazit tzv. Speed Vector. Ten je zobrazen čárkovanou čarou, kde každá čárka nebo mezera znamená vzdálenost, kterou letadlo se svou aktuální rychlostí uletí za dobu jedné minuty a na aktuálním tracku.

3.3.1.3 Measuring Vector

Funkce Measuring Vector dovoluje řídícímu změřit kurz na libovolný bod, který řídící zvolí. Jde v podstatě o libovolně „nataženou čáru“, na jejímž konci je zobrazen její směr, vzdálenost a čas, kdy by letadlo tohoto konce dosáhlo. Není ale rozdělená na minuty tak jako

Speed Vector. Je možné použít funkci i k měření vzdáleností a kurzů mezi dvěma libovolnými body, není nutné, aby vektor vždy začínal v poloze letadla.

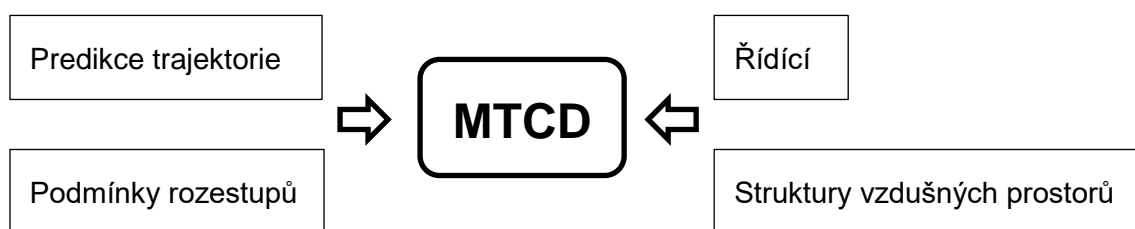
3.3.2 MTCD jako plánovací nástroj

Nástroj MTCD patří do skupiny nástrojů pro podporu rozhodování řídicích letového provozu (DST), kteří sledují situaci ve vzduchu a identifikují potenciální konflikty. Nástroj asistuje řídicímu poskytováním:

- informací ohledně všech možných konfliktů, které mohou v definovaném časovém horizontu nastat;
- času na vyhodnocení povahy a závažnosti problému (konfliktu);
- filtrování, díky kterému má řídicí možnost určit priority v řešení různých typů problémů;
- informace o provozu, který je konfliktní;
- informace o nesouladu průběhu letu s povolením řídicího letového provozu;
- možnosti vyzkoušet, „co když“ (z ang. originálu: „what-if“) – funkce, s jejíž pomocí řídicí nejprve může vyhodnotit, zda nově zadané povolení nebude tvořit další konflikt.

Při poskytování těchto možností je ale nadále potřeba zdůraznit, že za udržení rozestupu mezi letadly je stále zodpovědný řídicí letového provozu a plánovací nástroj jej v žádném případě nezbavuje jakékoli zodpovědnosti.

3.3.3 Vstupní zdroje



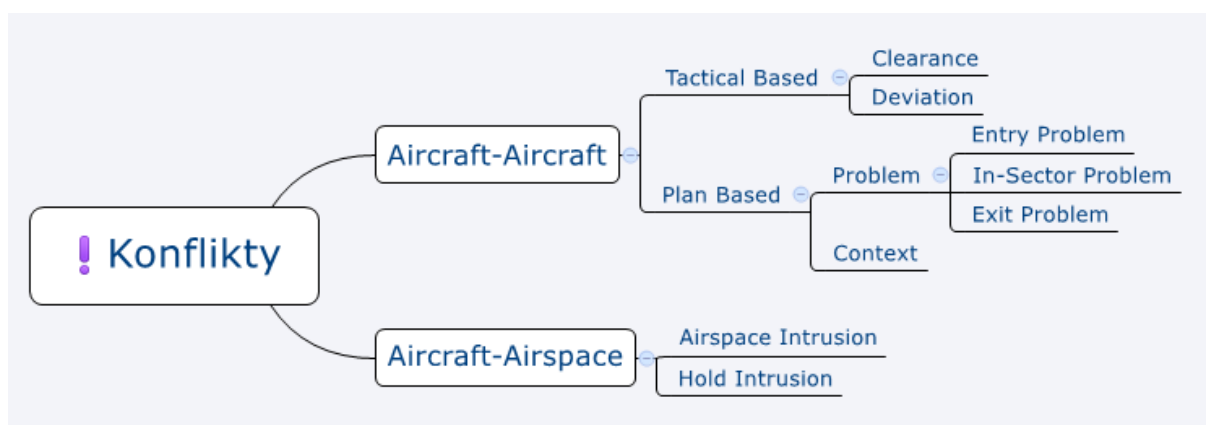
Obrázek 5 - Schéma vstupů do systému MTCD.

Důležitým vstupem jsou údaje z nástroje predikce trajektorie, na základě kterých dochází k porovnávání polohy letadel. Ty jsou vyhodnoceny podle podmínek rozestupů. Pro určení konfliktů, kdy dojde k narušení určitých vzdušných prostorů, je nutné, aby i tyto prostory byly v systému MTCD definovány. Řídící s informacemi systému pracují a mají možnost je filtrovat, a proto se řídicí objevují uvedeni jako vstup pro MTCD.

3.3.4 Typy konfliktů

Konflikt je definován jako stav, kdy je nejkratší vzdálenost mezi letadlem a druhým objektem menší než minimální dovolený rozestup. Druhým objektem lze rozumět další letadlo nebo vzdušný prostor. [20]

Nástroj střednědobé detekce konfliktů vyhledává tyto konflikty buď mezi dvěma letadly (Aircraft-Aircraft), nebo mezi letadlem a určitým vzdušným prostorem (Aircraft-Airspace).



Obrázek 6 - Přehled dělení konfliktů.

3.3.4.1 Letadlo – Letadlo

Konflikty mezi dvěma letadly se dále rozlišují podle toho, co je jejich příčinou. Zda je to taktická (Tactical Based), nebo plánovací chyba (Plan Based). V případě taktické chyby jde o konflikt, kdy je poloha jednoho nebo obou letadel určena z taktické trajektorie. Příčinou může být špatné povolení od řídicího letového provozu, nebo pokud se letadlo vychyluje oproti poslednímu povolení od ŘLP.

Plánovací chyba způsobuje konflikty, které rozlišujeme podle polohy jejich vzniku vůči sektoru, který je řídicími řízen. Jsou to problémy vstupní (Entry Problem), které hrozí krátce po vstupu letadla do sledovaného sektoru. Výstupní problém (Exit Problem) je pak takový, který letadlu hrozí krátce před opuštěním sektoru. Řešení těchto konfliktních situací spadá do kompetence plánujícího řídicího letového provozu. Nevyřešení například vstupního problému může způsobit, že výkonný řídicí pak nebude mít dostatek času konflikt vyřešit. Dále jsou v této kategorii také konflikty odvozené z plánované trajektorie vznikající uvnitř sektoru (In-Sector Problem). Jejich řešení může plánující řídicí navrhnout a připravit výkonnému.

Zvláštní konfliktní situací, která se také řadí mezi ty, které jsou způsobené plánovací chybou, je tzv. kontextový problém. Ten vzniká v případě, kdy je možnost provést s letadlem určitý manévr omezena blízkou přítomností letadla jiného. Jako příklad lze uvést let dvou letadel

přesně nad sebou s vertikálním rozestupem 2000 ft. Je zřejmé, že v takovém případě horní letadlo omezuje možnosti spodního v tom, že nemůže začít stoupat do vyšší letové hladiny.

3.3.4.2 *Letadlo – Vzdušný prostor*

Systém MTCD také vyhodnocuje, zda letadlo nenaruší určitý omezený vzdušný prostor a nedojde ke konfliktní situaci mezi letadlem a tímto prostorem (Airspace Intrusion). Speciální kategorie je narušení vyčkávacích obrazců (Hold Intrusion), které se využívají k regulaci letadel při čekání na přistání na vytížených letištích. Letadla ve vyšších letových hladinách využívají vzhledem ke větším rychlostem větší vyčkávací obrazec, než ta, která jsou již v hladinách nižších. Proto je nutné, aby MTCD mělo definované také prostory, ve kterých se tato vyčkávání provádí, a aby ověřovalo, zda plánované trajektorie letadel nekříží aktivované vyčkávací prostory.

3.3.5 **Vyšetření konfliktu**

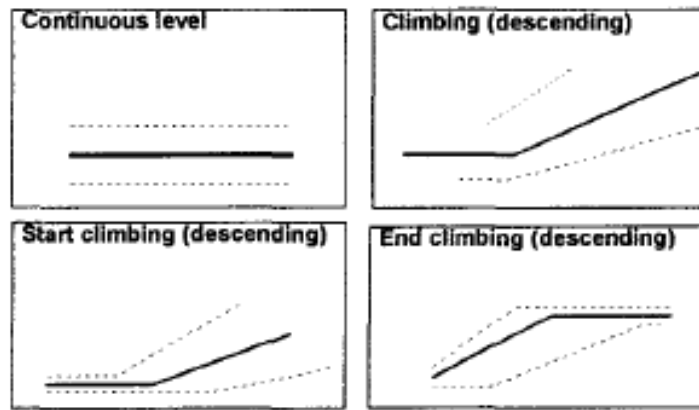
Obecně MTCD vyhledává konflikty mezi všemi lety, pro které jsou dostupná data o jejich trajektorii. Řídicí mají možnost jednotlivé lety vyřadit z procesu vyhledávání konfliktů, nebo přiřadit zpět.

Systém provádí výpočty za účelem vyhledání konfliktu v těchto případech:

- do systému jsou přivedena data o nové trajektorii (nový let);
- dojde k aktualizaci systému již známé trajektorie;
- v případě, že se změní podmínky prostředí (meteorologické, nově uzavřený vzdušný prostor);
- když dojde k opětovnému zařazení již vyřazeného letu z výpočtů zpět;
- když vypršela definovaná doba od posledního výpočtu.

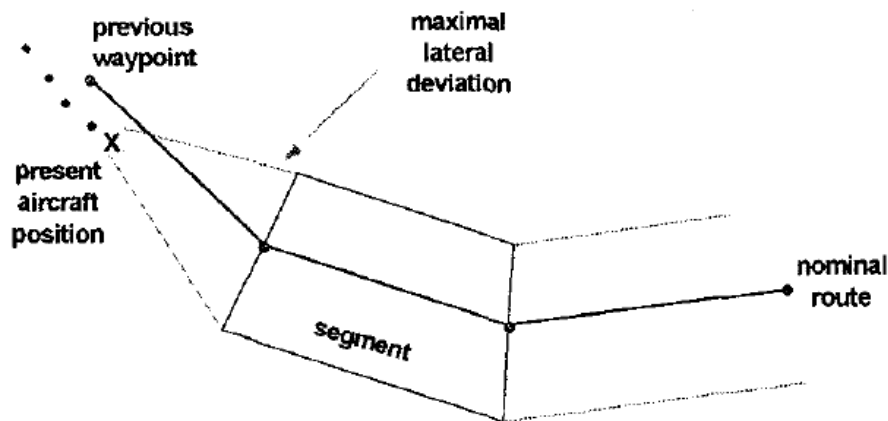
Existující konflikt je vymazán (přestává být indikován), pokud jedno z letadel v něm zahrnuté opustí sledovanou oblast, nebo pokud je jedno z konfliktních letadel manuálně vyřazeno řídicím z výpočtů.

Protože chování letadla nelze předvídat naprosto přesně, systém MTCD tvoří okolo dostupných trajektorií tzv. oblasti nejistoty. Ty jsou tvořeny nezávisle pro vertikální nepřesnosti a pro nepřesnosti horizontální. Na obrázku 7 jsou tyto nejistoty zobrazeny pro vertikální rovinu. Predikce stoupajícího nebo klesajícího letu je náročná, a proto se oblast nejistoty okolo trajektorie v čase rozšiřuje, za bodem Top of Climb se opět zúží na nejistotu ustáleného letu.



Obrázek 7 - Vertikální oblasti nejistoty. [20]

Na obrázku 8 je zobrazena horizontální nejistota, která se také ze současné pozice letadla rozšiřuje s časem. Dále je tato nejistota rozdělena do segmentů, ve kterých se bude letadlo pravděpodobně nacházet v určitém časovém intervalu. Ten je definován nejdřívějším časem, kdy letadlo může přeletět traťový bod, a nejpozdějším časem, kdy letadlo má dosáhnout traťový bod následující.

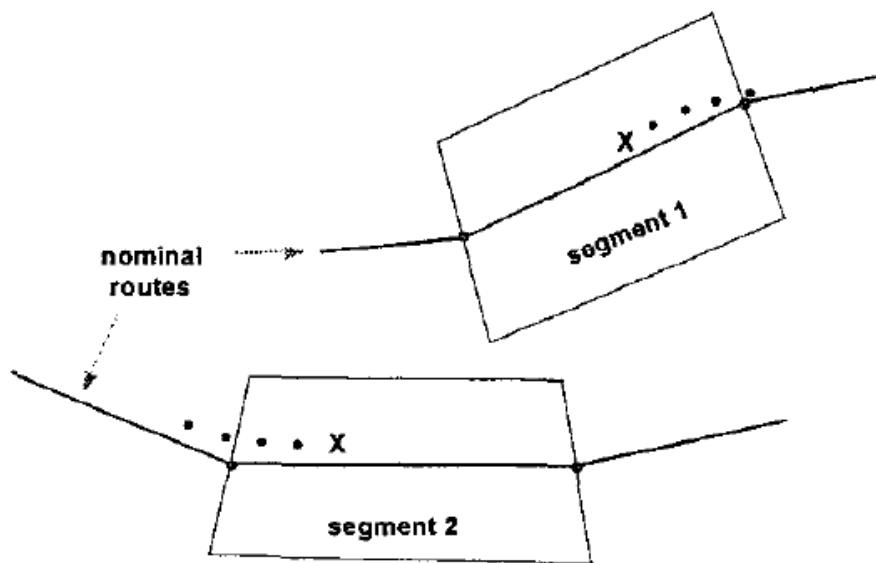


Obrázek 8 - Horizontální nejistota trajektorie. [20]

MTCD pracuje na principu geometrické detekce konfliktů, nikoli pravděpodobnostní. Jde tedy o porovnávání geometrických útvarů a vzdáleností. Důvodem výběru tohoto přístupu je fakt, že je považován za lépe pochopitelný a jednodušeji přijatelný řídicími letového provozu. Systém řídicímu poskytne informace ohledně závažnosti konfliktu právě podle jeho geometrie a podle času, který má řídicí na jeho vyřešení.

Konflikt je detekován, pokud vzdálenost mezi předpokládanými polohami letadel je menší než požadované vertikální a horizontální rozestupy. Nástroj nejprve vyhodnocuje zachování vertikálního rozestupu. Pokud je tato vzdálenost dostatečná a splňuje podmínky vertikálního rozestupu, není pro tento pár potřeba dalších výpočtů. Jestliže není tato separace dostatečná, dochází k vyhodnocení vzájemné polohy segmentů okolo horizontálního průmětu trajektorie. V případě, že tyto segmenty nesplňují požadavky na rozestup, je

proveden poslední a podrobnější výpočet, kterým se zjišťuje čas, kdy dojde k největšímu sblížení letadel, a kterým se zjišťuje vzdálenost mezi letadly. Údaje jsou pak porovnány s podmínkami pro rozestupy.



Obrázek 9 - Vyhodnocení polohy segmentů dvou trajektorií. [20]

3.3.6 Vývoj a testování MTCD

Vývoj nového nástroje pro střednědobou detekci konfliktů mezi letadly probíhá již od druhé poloviny devadesátých let minulého století. Je zřejmé, že je nutné přijít na složité algoritmy potřebné ke správnému fungování systému. První testování a simulace proběhly již v roce 1998, výsledky však nebyly uspokojivé. Následovaly simulace v březnu roku 2000 – v rámci projektu EATCHIP proběhlo hodnocení vlivu nástroje MTCD na řídicí letového provozu. Tento experiment byl proveden v simulovaném prostředí vzdušných prostorů Paříž ACC, Remeš ACC a Maastricht UAC a zúčastnili se jej členové z Francie, Německa, Maďarska a Itálie. Cílem bylo zhodnotit jistotu, kterou řídicí do systému vkládají. Zda řídicí zaznamenal ty problémy, které zjistilo MTCD a naopak, zda MTCD zjistilo ty, kterých si všiml řídicí. Zda opravdu zlepšil plánování a tím sníží zátěž výkonného řídicího. Součástí byl také přechod ze systému papírových proužků na elektronické.

Simulovaný provoz byl založený na skutečných záznamech letů z roku 1998, pouze byly změněny některé časy; typy letadel, volací znaky a tratě však byly původní.

Závěrečné hodnocení proběhlo formou dotazníků a debriefinků a přineslo překvapivě spíše pozitivní ohlasy:

- účastníci hodnotili úroveň simulace jako dobrou nebo velmi dobrou;
- řídicí se do nového prostředí adaptovali rychle;

- jeden řídící uvedl, že některé konfliktní situace odhalené MTCD by se v realitě nestaly, protože řídící v předchozích sektorech by letadla separovali více logicky;
- většina účastníků si stěžovala na množství falešných upozornění, což snižovalo jejich důvěru v systém MTCD a nespolehnali stoprocentně na to, že nástroj konflikt odhalí;
- účastníci se shodli, že nástroj nemá nahradit plánujícího řídícího, má sloužit jako nástroj podporující plánování;
- bylo potvrzeno, že MTCD poskytne výkonnému řídícímu více času řešit problémy;
- výkonní řídící během simulace neměli pocit, že by systém snížil jejich pracovní zátěž, tvrdí ale, že by se systémem zvládli řídit větší letový provoz;
- naopak většina plánujících řídících se shodla, že jim MTCD zátěž snížilo a že svou uvolněnou kapacitu využili k podpoře výkonného řídícího.

I nadále však po těchto simulacích bylo potřeba věnovat se hlavně zpřesňování predikce trajektorie, která je nutná pro správné fungování detekce konfliktů. Do prvních implementací nového systému muselo uplynout ještě více než deset let.

3.3.7 Implementace MTCD

3.3.7.1 Deutsche Flugsicherung

Německý poskytovatel služeb řízení letového provozu Deutsche Flugsicherung GmbH implementoval v prosinci 2011 nástroj MTCD do systému VAFORIT, který je instalován ve středisku v Karlsruhe. VAFORIT zvýšil kapacitu horního vzdušného prostoru o 11 %. Zavedení tohoto systému předcházela dlouhý vývoj – experti z DFS začali na projektu pracovat již v roce 1996 společně se španělskou firmou na vývoj systémů INDRA.

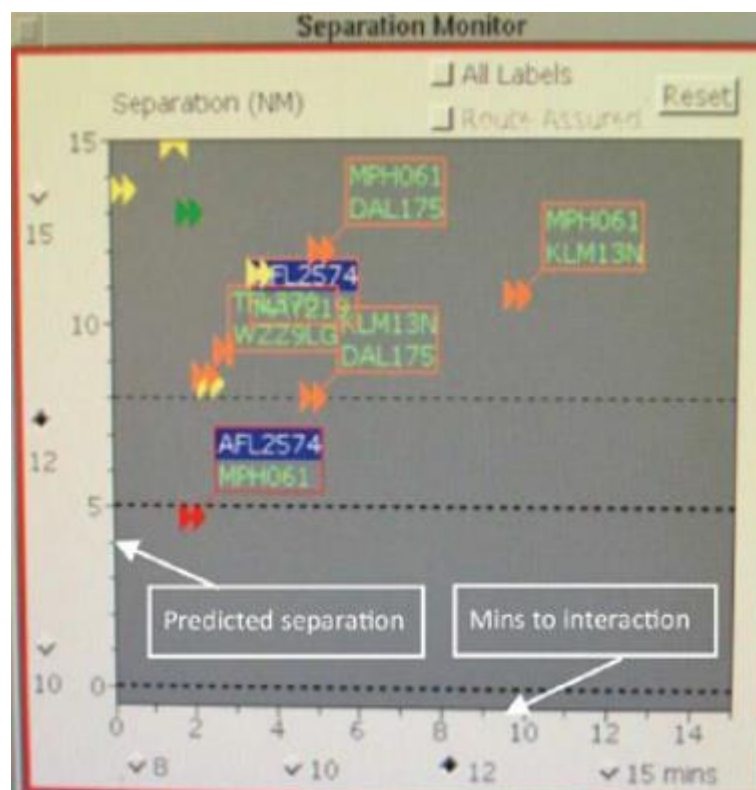
Pro detekci konfliktů využívá plánující řídící nástroj MTCD. Ten zobrazuje možné porušení podmínek pro rozestupy v horizontu 15 minut dopředu. Upozornění je založeno na plánované trajektorii, která ale nemusí být shodná se současnou taktickou trajektorií. Proto MTCD spíše „napovídá“, kde konflikty mohou nastat a jak mohou být kritické.

Výkonný řídící využívá nástroj ECS-Tool (Executive Conflict Search Tool), což je odvozenina MTCD, ale zobrazuje konflikty v kratším časovém úseku. ECS-Tool počítá s taktickou trajektorií na základě povolení, které řídící zadá do systému.

Během začátku užívání systému VAFORIT byl veliký problém s chybnými hlášeními. To bylo způsobeno špatnými výpočty trajektorií, které byly ale každým rokem zlepšeny, a v současné době je těchto falešných upozornění pod 5 %. Existuje stále malý počet situací, kdy MTCD nefunguje správně. Takové situace jsou údajně řídícím známy a nenarušují tak jejich každodenní práci. Dle hodnocení řídících z Karlsruhe jsou se systémem spokojeni na 90 %.

3.3.7.2 NATS

Poskytovatel služeb řízení letového provozu ve Velké Británii úspěšně zavedl v listopadu 2011 nástroj iFACTS (interim Future Area Control Tools Support) ve středisku Swanwick ACC. iFACTS je nástroj, který kontinuálně monitoruje vývoj všech letů podle jejich letového plánu nebo podle posledního povolení řídicího zadaného do elektronického proužku. Pokud se letadlo od povolení vychýlí, řídicí je okamžitě varován. Systém také dokáže zobrazit trajektorii podle letového plánu do horizontu 18 minut. Pokud řídicí potřebuje povolit letadlu jinou letovou hladinu nebo provést jakýkoli jiný manévr, může si zobrazit grafickou reprezentaci potenciálních konfliktů. Řídicí tak může své rozhodnutí rychle ověřit, než jej udělá.



Obrázek 10 - Zobrazení konfliktů na obrazovce řídicího. [24]

Upozornění se řídicím zobrazují na monitoru rozestupů, jak je vidět na obrázku 24. Vodorovná osa představuje čas zbývající do konfliktu, svislá osa rozestup mezi letadly. Každý trojúhelník reprezentuje jedno letadlo a je zbarven podle závažnosti konfliktu. Pokud je zelený, je zajištěn správný rozestup. Pokud je červený, dojde ke ztrátě rozestupu. Čím blíže jsou trojúhelníky levému dolnímu rohu, tím závažnější konfliktní situace je, a tím dříve nastane.

Díky přesným detekcím konfliktů může být letecký provoz řízen efektivněji. Zvyšuje se kapacita vzdušných prostorů a zároveň roste bezpečnost (safety) provozu letecké dopravy.

Zavedení nástroje také povede k výhodnějším vertikálním profilům letů a umožní více letů vedených po přímých tratích, což povede k nižší spotřebě paliva.

3.4 Arrival Manager

Cílem Arrival Manageru (AMAN) je poskytnout elektronickou asistenci při řízení toku letadel od vstupu do určitého vzdušného prostoru až na určené body, jako například práh přistávací dráhy nebo přibližovací fixy.

Hlavním úkolem je pomáhat řídicímu letového provozu optimalizovat využití kapacity přistávací dráhy a regulovat tok letadel. Další výhodou je minimalizování dopadu letecké dopravy na životní prostředí, a to díky snižování počtu letadel, která musejí před přistáním vyčkávat, a také díky menšímu počtu letů vektorovaných v nízkých výškách.

Funkce pro plánování a řazení letadel má zároveň přispět ke snížení pracovní zátěže řídicího letového provozu, zejména při řešení výjimečných situací, jako je například uzavření jedné z přistávacích drah.

Se systémem AMAN pracuje zejména vedoucí směny (supervisor) na stanovišti approach. Spočítané informace jsou pak rozděleny a rozeslány řídicím do konkrétních sektorů a také do oblastních středisek řízení.

3.4.1 Obecné principy AMANu

Pro systém jsou nejdůležitější samotné vstupy, ze kterých počítá další informace. Údaje o letovém plánu systém získává z Flight Data Processing System (FDPS) a radarová data z Radar Data Processing System (RDPS). Dále systém využívá model výkonností letadel a má informace o uzavřených vzdušných prostorech a dalších omezeních, která musí respektovat. Například se taková omezení týkají snižování rychlosti a systém počítá s dodržением rychlosti 250 kt pod FL100. Při navrhování přistávací sekvence letadel je také důležité brát v úvahu kategorie letadel z důvodu turbulence v úplavu.

Pro větší přesnost predikce letů jsou systému poskytnuta data z meteorologických stanic, zejména týkající se větru.

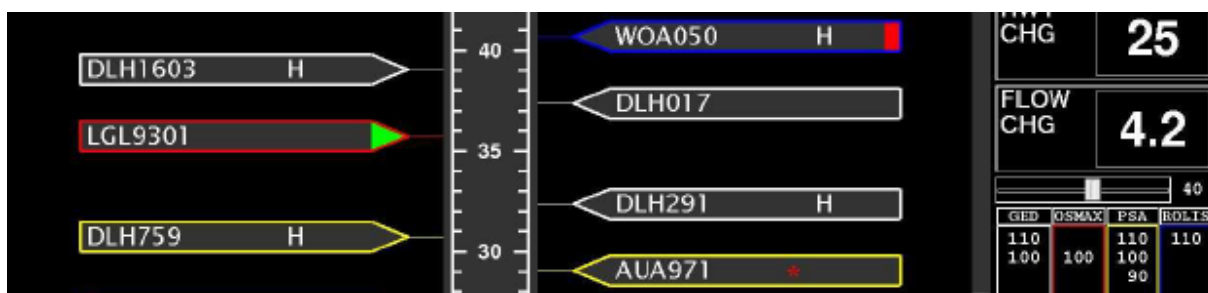
3.4.2 Zpracování

V počáteční fázi je významný proces predikce trajektorie, ze kterého se systém dozví, v jakém čase bude letadlo v konkrétním místě. Pro predikci trajektorie AMAN může využívat buď interní, nebo externí nástroj.

Nástroj pro tvorbu sekvence poté tuto sekvenci vytvoří na základě principu „kdo dřív přijde, ten dřív mele“, ačkoliv mohou být uplatněny i jiné principy, zejména s ohledem na turbulenci

v úplavu. Jako výstup je pak vygenerována očekávaná sekvence – pro každé letadlo je přiřazen čas. Tyto časy jsou pak porovnány a v případě potřeby je zobrazena informace o zpoždění – Loose Message. Řídicí je tak schopen na základě časových informací reagovat a pokud potřebuje, na základě časového doporučení ví, jak má letadlo zpomalit nebo zrychlit. Systém mu také nabídne optimální rychlost, kterou by mělo letadlo letět. Navíc AMAN dokáže vyhodnotit, kdy a kde má letadlo zahájit případné vyčkávání před zahájením přiblížení k letišti.

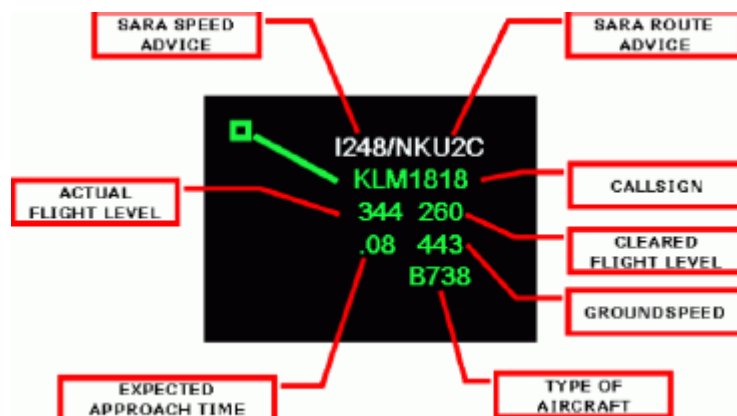
Systémy AMAN mají různě definované horizonty, ve kterých řadí letadla. Některé systémy pracují dynamicky s neustálými aktualizacemi, některé již přiřazený čas v sekvenci dále nepřepočítávají. To záleží na konkrétním požadavku a nastavení poskytovatele řízení letového provozu.



Obrázek 11 - Zobrazení vytvořené sekvence letadel v podobě tzv. time-line na obrazovce řídicího. [6]

3.4.3 Výstup systému AMAN

Výstupem je optimalizovaná sekvence v podobě time-line (viz obrázek 11), informace o čase a zpoždění letadla. Toto je zobrazeno supervisorovi na obrazovce. Systém může zobrazit kromě informace o zpoždění také informaci o čase, kdy je letadlo v předstihu – Time to Gain.



Obrázek 12 - Možné zobrazení doporučení na radarové obrazovce. [6]

Další formou zobrazení informací ze systému AMAN je zobrazení doporučení přímo u labelu letadla v radarovém zobrazení, jak je vidět na obrázku 12. V prvním řádku je uvedena doporučená rychlost a doporučená trať.

3.4.4 Ovládání systému

Se systémem pracuje a ovládá jej supervisor. Ten do systému zadává, která přistávací dráha je v provozu, která je uzavřená, vkládá do systému informace o výjimečných situacích (go-around, diverze na jiné letiště). Supervisor má také možnost sekvenci manuálně upravit.

Přestože je systém AMAN monitorován supervisorem, za taktické zásahy a řízení jednotlivých letů je zodpovědný sektorový řídicí. Je důležité si uvědomit, že systém řídicímu pouze nabízí možnosti – je to support tool.

Používání Arrival Manageru se v různých střediscích řízení liší. Existují případy, kdy AMAN běží pasivně na pozadí, zatímco v jiných střediscích se AMAN stal důležitou součástí optimalizování toku příletů a jeho nepřítomnost by způsobila nepříjemná zpoždění.

3.4.5 Arrival Manager - FDPS s omezenými funkcemi pro řízení příletů

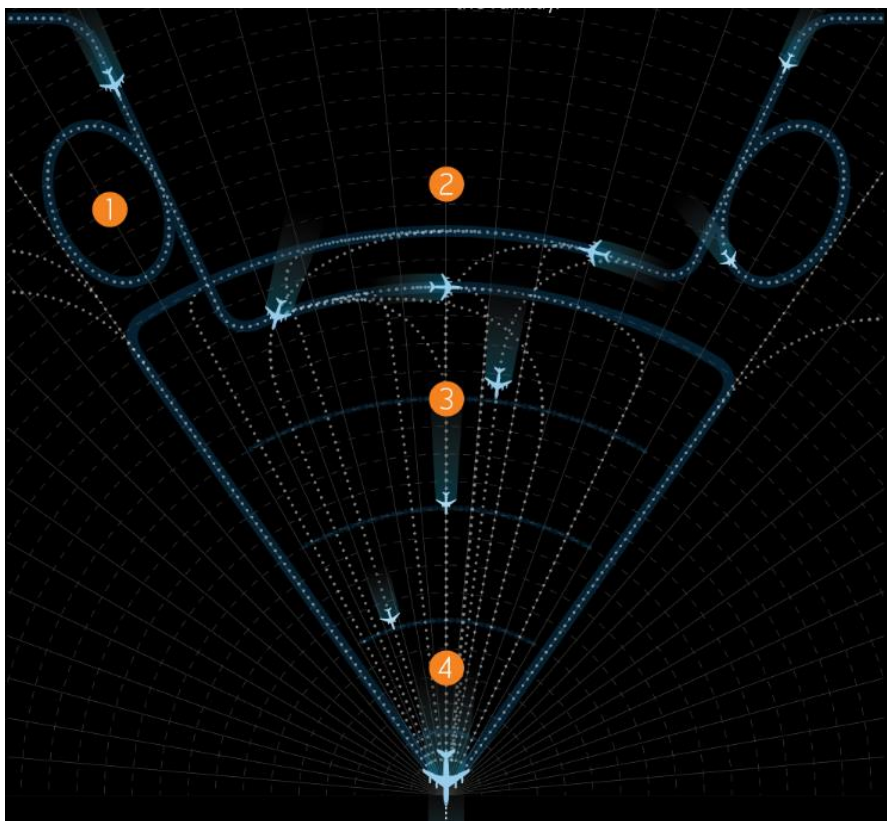
AMAN v tomto případě není samostatný systém, ale je součástí systému FDPS. Všeobecně však určená sekvence neoptimalizuje tok letadel přilétávajících k letišti. Takový druh Arrival Manageru se používá na letištích s nízkou až střední mírou provozu.

Pro řízení příletů na letiště Václava Havla v Praze je plánována implementace příletového manažera nejdříve na rok 2020.

3.4.6 Point Merge System

Novou technikou pro řízení letadel přilétajících k letišti se stává tzv. Point Merge System. Jde o nový způsob vedení letadel k jednomu bodu (Point Merge), ze kterého pak pokračují již všechna letadla jednou trátí k přistávací dráze. Důležité je, že tato technika počítá s vybavením letadel technologií P-RNAV, díky které je toto navádění nezávislé na pozemních navigačních systémech. Propojení této techniky se systémy Arrival Manageru je výhodné, a podporuje tak kontinuální klesání letadel do destinace.

V bodě 1 na obrázku 13 přilétá letadlo k oblouku Point Merge dle definované tratě a provede vyčkávání, pokud je to nutné. V bodě 2 letí letadlo po oblouku, který může být dlouhý 15 až 40 NM. Letadla se slétají z protisměrných tratí a jsou vertikálně rozestoupena 1000 ft. Po přijetí instrukce od ATC se letadlo v bodě 3 směřuje k bodu Point Merge, který je právě tam, kde se všechny tratě setkávají, a všechna letadla dále pokračují stejnou trátí k přistávací dráze.



Obrázek 13 - Ilustrace metody Point Merge. [25]

V současné době je Point Merge využíváno již na letištích v Oslu (od roku 2011), Dublinu (2012), Soulu (2012), v oblasti Paříž ACC (2013), dále ve městech Kuala Lumpur (2014), Lagos (2014), Hannover (2014) a od letošního roku 2016 také na letištích London-City a Biggin Hill.

V případě londýnského letiště City jde o vytvoření nových tratí k obloukům Point Merge, které drží přílety nad oceánem, kde jsou také vytvořeny dva nové prostory pro případné vyčkávání.



Obrázek 14 - Point Merge na letišti Londýn-City. [26]

Díky Point Merge je možné řadit letadla do efektivnějších sekvencí a již ve vyšších letových hladinách, než při současném klasickém vyčkávání pouze v obrazci. Díky tomuto také dojde ke snížení počtu letadel, která létají v nízkých výškách. Protože letadla mohou klesat kontinuálně, je možné navrhnout odletové tratě tak, aby se odlétající letadla vyhnula přilétajícím a zároveň aby vystoupala do vyšších letových hladin rychleji. Ve výsledku se má snížit počet zpožděných letů a také spotřeba paliva.

3.5 Departure Manager

Čekání letadel ve frontě před prahem vzletové dráhy způsobuje zbytečné spalování paliva a vyvolává zpoždění. Díky modernímu odletovému managementu se tato čekání snižují. Na úvod této podkapitoly je nutné uvést a definovat důležité pojmy.

3.5.1 Pojmy a jejich definice

Actual Off-Block Time (AOBT)

- čas, kdy je letadlo vytlačeno ze stojánky/opustí stojánku.

Actual Start Up Approval Time (ASAT)

- čas, kdy piloti dostanou povolení k nastartování motorů.

Actual Take Off Time (ATOT)

- čas, kdy letadlo skutečně vzlétne.

Calculated Take Off Time (CTOT)

- čas, ve kterém se očekává vzlet letadla, spočítaný a určený Network Managerem na základě přidělení časového slotu.

Estimated Off-Block Time (EOBT)

- očekávaný čas zahájení pohybu letadla po letištní ploše za účelem odletu.

Expected Runway Delay Buffer (ERBP)

- plánovaná doba, kterou letadlo stráví vyčkáváním na vyčkávacím místě vzletové dráhy.

Expected Runway Waiting Period (ERWP)

- celkové zpoždění, které letadlo bude mít při vjezdu na dráhu. Je dáno součtem ERBP + ESWP.

Expected Stand Waiting Period (ESWP)

- očekávaná doba, kterou letadlo stráví mezi vytlačením ze stojánky a zahájením pojíždění.

Expected Outbound Taxi Period (EXOP)

- očekávaná doba pojíždění – mezi „off-block“ a příjezdem na vyčkávací místo.

Estimated Taxi Out Time (EXOT)

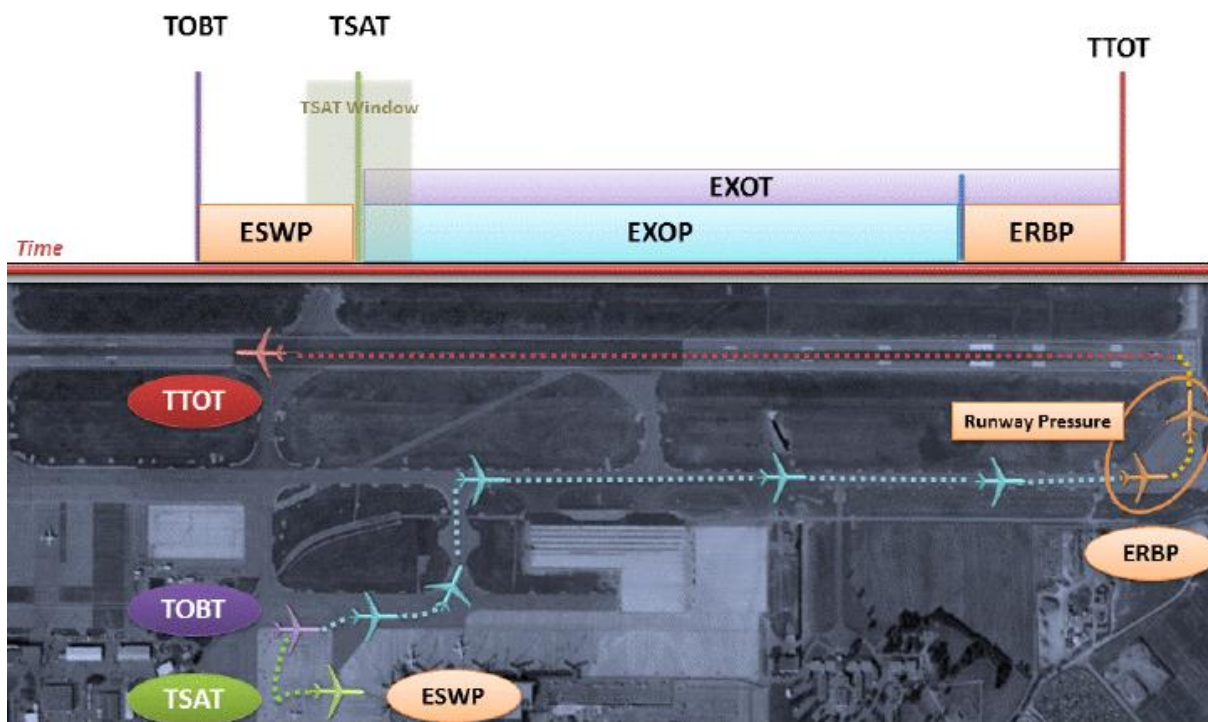
- očekávaná doba pojíždění – mezi „off-block“ a vzletem, zahrnuje dobu strávenou na vyčkávacím místě vzletové dráhy i dobu potřebnou k provedení odmrazení.

Scheduled Off-Block Time (SOBT)

- plánovaný čas opuštění stojánky, provozovatelé jej uvádějí v letovém řádu.

Target Off-Block Time (TOBT)

- čas, ve kterém pozemní personál očekává, že letadlo bude připraveno k vytlačení ze stojánky – budou zavřené dveře a odtažen nástupní most, bude dostupné vozidlo k vytlačení letadla.



Obrázek 15 - Průběh odletu letadla. [23]

Target Start Up Approval Time (TSAT)

- čas určený ATC, který zohledňuje TOBT, CTOT a/nebo dopravní situaci, ve kterém letadlo může očekávat povolení k vytlačení a nastartování motorů.

TSAT Window

- časový interval +/- 5 minut od TSAT, ve kterém může být uděleno povolení k vytlačení letadla ze stojánky a nastartování motorů.

Target Take Off Time (TTOT)

- čas vypočítaný jako TOBT/TSAT + EXOT. Dva následující TTOT pro jednu vzletovou dráhu se od sebe liší časovým intervalem vyplývajícím z podmínek pro dodržení rozestupu z důvodu turbulence v úplavu.

3.5.2 Charakteristika DMAN

Nástroj Departure Manager bere v ohled plánované časy odletu, omezení způsobené přiřazováním slotů a také vlastnosti vzletové dráhy – její kapacitu nebo možná vyčkávací místa před vstupem letadla na dráhu. Cílem systému je sestavení optimální sekvence letadel pro odlet a tím:

- umožnění optimálního využití vzletové a přistávací dráhy;
- organizace a plánování odlétajícího provozu v TMA;
- minimalizace zpoždění letů;
- zlepšení koordinace s oblastními řídicími a řídicími stanoviště Approach.

Pro zajištění tohoto zadání poskytuje DMAN odletové časy jednotlivých letů a umožňuje optimalizovanou stoupání letadel v oblasti TMA. K tomu, aby systém mohl spolehlivě sekvenci vypočítat, potřebuje přesné informace o stavech jednotlivých letů, které získává z mnoha letištních systémů díky fungování tzv. Airport Collaborative Decision-Making (A-CDM). Jde o proces, jehož cílem je počítat a neustále aktualizovat TOBT. Tento princip spolupráce funguje tak, že například handlingový agent na základě průběhu handlingu poskytne čas TOBT a řídicí na věži poté čas TTOT. Čas CTOT je určen Network Managerem, který zodpovídá za řízení toků letů napříč celou Evropou.

Pokročilé systémy DMAN mohou kromě vytváření sekvence letadel využívat také nástroje pro predikci trajektorie a údaje o odletových tratích a na základě těchto informací mohou pomáhat předcházení konfliktů mezi letadly, která právě odstartovala, a ostatním provozem. Na letištích, na kterých se používá jedna dráha pro vzlety i přistání, je žádoucí, aby DMAN

spolupracoval se systémem AMAN. AMAN tak poskytuje informace o sekvenci letadel na přistání, DMAN mezi přistávající letadla zařadí odlety.

Dle [23] je DMAN definovaný jako systém pro plánování a zlepšení toku odlétajících letadel z letiště, čehož dosahuje výpočtem TTOT a TSAT pro každý let a za podmínek stanovených omezení nebo preferencí.

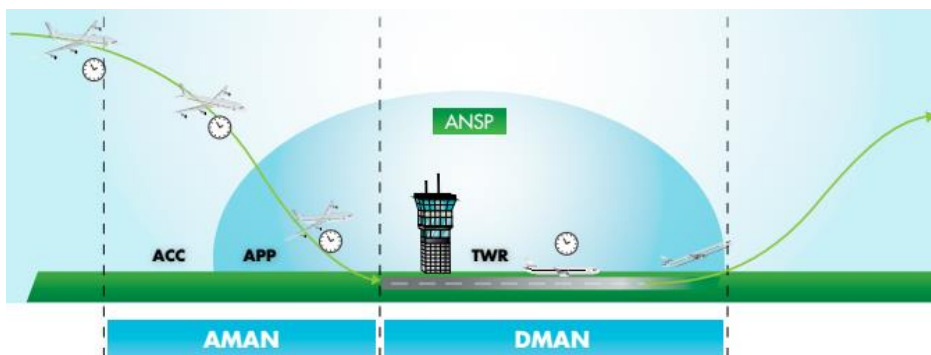
Ve smyslu výše uvedené definice je základní funkcí DMANu poskytnout předodletové časy pro nastartování motorů (předodletovou sekvenci). Nutným údajem pro tento výpočet je čas TOBT. Předodletová a odletová sekvence je vytvořena na základě těchto principů:

- každý let je nejprve plánován do předodletové sekvence podle prvoplánového TTOT (TOBT + EXOT);
- pořadí TSAT se může změnit z důvodu optimalizace nebo omezení např. kapacitou dráhy;
- nejvyšší prioritu mají lety se stanoveným CTOT – plně se respektují sloty přidělené Network Managerem;
- pokud budou mít ve výsledku dva lety stejný TTOT, přednost dostává ten, jehož TOBT bylo stanoveno dříve;
- TTOT je stanoveno jako součet TOBT + EXOP + ERWP.

3.5.3 Zavedení systému DMAN

Firma Thales zavádí společný nástroj pro AMAN a DMAN v systému pro řízení letového provozu Maestro. Tento systém již funguje na letištích v Kodani, Nice a Paříži. V Kodani došlo díky novému systému a jeho nástrojům ke zvýšení kapacity vzletové a přistávací dráhy o 10 %. V Nice se díky novince podařilo zvýšit počet příletů za hodinu z 26 na 28. Na letišti CDG v Paříži se zvýšila přesnost odletů o 10 % a došlo k navýšení kapacity pařížského TMA o 30 % a ke zkrácení doby pojiždění o průměrně 2 minuty.

Samotný nástroj Maestro AMAN je využíván také na letištích v Johannesburgu, Sydney a Bangkoku. Samotný Maestro DMAN pak na letišti CDG v Paříži.



Obrázek 16 - Integrace funkcí AMAN a DMAN. [28]

3.6 Safety Nets

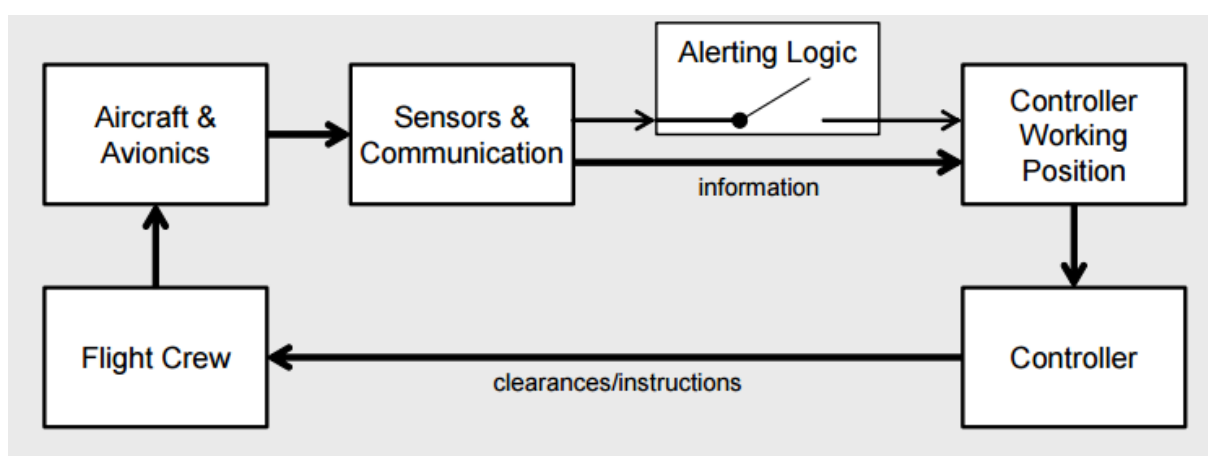
Přesto, že na všechny systémy používané pro řízení letového provozu jsou kladeny ty nejvyšší nároky z hlediska bezpečnosti a spolehlivosti, může se stát, že i takový vysoce kvalitní systém selže. Pro tyto případy existují systémy tzv. záchranných sítí (Safety Nets), které zabraňují vzniku nežádoucích situací v případě, že běžné postupy a opatření tomu zabránit již nedokáží.

Safety Nets mohou být jak pozemní (v systémech řízení letového provozu), tak pracující během letu (palubní záchranné sítě). V této práci se budu dále zabývat těmi pozemními, se kterými se setkávají při práci řídicí letového provozu.

Pro stanovení požadavků na tyto systémy vznikl v roce 2005 SPIN (Safety Nets: Planning Implementation & Enhancements) a také se tímto tématem zabývá technická část projektu pro jednotné evropské nebe – SESAR.

3.6.1 Short Term Conflict Alert

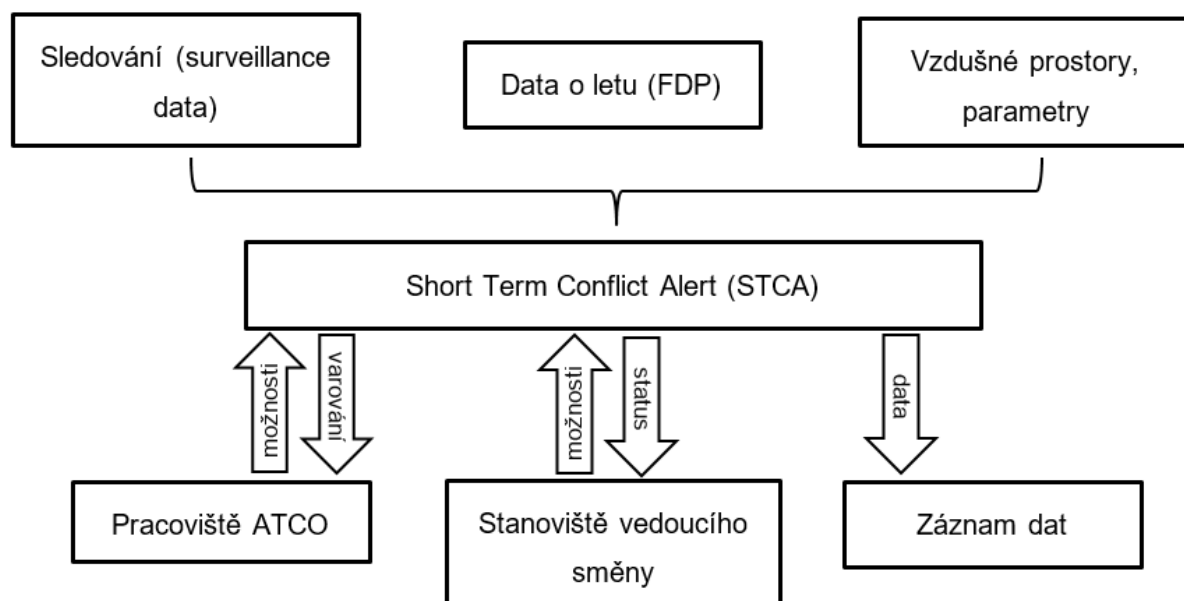
Řídicí letového provozu je faktor, který bezpečnost celého systému řízení významně ovlivňuje. Na obrázku 17 je patrná smyčka popisující fungování řízení letového provozu. Řídicí zadá posádce letadla určité povolení. Posádka toto povolení dodržuje tím, že manuálně pracuje s ovládacími prvky letadla. Změna chování letadla je pak snímána radary a zobrazena řídicímu na patřičných obrazovkách a zde se smyčka uzavírá – řídicí sleduje obrazovky a z nich informace přijímá. Tato smyčka začíná i končí v lidském faktoru. A protože informace přijímá člověk, dochází k selektivnímu vnímání informací a selektivní pozornosti. Z tohoto důvodu je nutné do celé smyčky přidat člena, který v případě žádné reakce řídicího zobrazí patřičnou indikaci na hrozící situaci. Ve smyčce na obrázku je tento člen zobrazen jako Alerting Logic.



Obrázek 17 - Zjednodušená smyčka popisující řízení letového provozu. [14]

V této podkapitole uvádím Short Term Conflict Alert, tedy krátkodobou detekci konfliktů, která má upozornit řídící na hrozící konfliktní situace v časovém horizontu do dvou minut.

3.6.1.1 Vstupy a výstupy STCA



Obrázek 18 - Schéma systému STCA.

Jak je zobrazeno na obrázku 18, systém STCA získává informace ze systému na zpracování dat o sledování – přehledových systémů (Surveillance Data Processing), je nutné, aby znal definice sektorů a vzdušných prostorů a parametry rozestupů. Letová data obsahují tyto informace:

- status RVSM – za účelem správné aplikace vertikálních rozestupů ve vzdušném prostoru RVSM;
- zahrnuté sektory;
- povolenou letovou hladinu;
- typ letadla/kategorie dle turbulence v úplavu;
- manuálně zadanou letovou hladinu, v případě že není dostupná z módu C nebo S.

Poskytnutá varování systému jsou pasivní – tzn. není provedeno vyřešení situace automaticky.

3.6.1.2 Vyšetření konfliktu

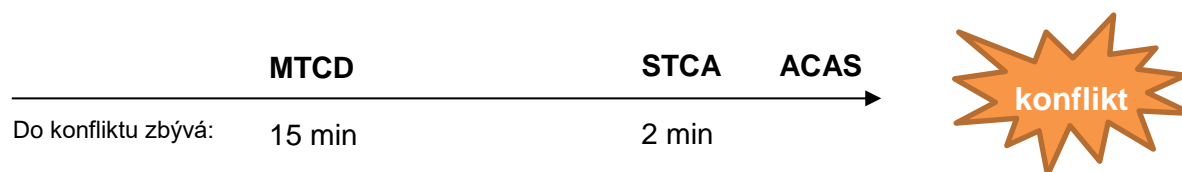
Nejefektivnější mechanismus pro vyhledání konfliktu systémem STCA je lineární predikce trajektorie. Lineární predikce je provedena jako lineární extrapolace sledovaného 3D vektoru každého letadla. Ověřením vzájemné polohy těchto „prodloužených tracků“ – polopřímek, se zjistí, zda sledovaný pár letadel současně neporušuje dané podmínky pro rozestupy.

3.6.1.3 Současné využívání STCA

Záchranná síť pro krátkodobou detekci konfliktů je již hojně implementována v řídicích střediscích celého světa. Důvod, proč je STCA již využíváno oproti MTCD, je jednoznačný, a to, že STCA nevyužívá nástroje predikce 4D trajektorie, který je základním kamenem úrazu pro MTCD.

Dle specifikace systému jsou kladeny nároky, aby počet falešných upozornění (false alerts, FA) byl do 30 %. To je pro falešná upozornění až neuvěřitelně velký prostor. Podle zkušeností poskytovatelů služeb řízení letového provozu je přijatelný počet FA, pokud jsou pod 5 %. Vše je ale otázkou požadavků těchto poskytovatelů a vyladěním celého systému, aby těmto požadavkům vyhověl.

Řízení letového provozu České republiky má systém nastavený tak, aby zobrazil varování před konflikty, které mohou nastat v horizontu 1,5 min až 2,5 min. V případě, že letadla letí proti sobě, může být tento časový horizont delší. Toto nastavení má umožnit, že pokud řídící (STCA využívá pouze výkonný řídící) na varování včas a správně zareaguje, dojde k zachování rozestupu a konfliktní situace vůbec nenastane. Varování STCA vždy předchází varování ACAS na palubě letadla!



Obrázek 19 - Časová posloupnost varování systémů pro detekci konfliktů.

3.6.2 Minimum Safe Altitude Warning

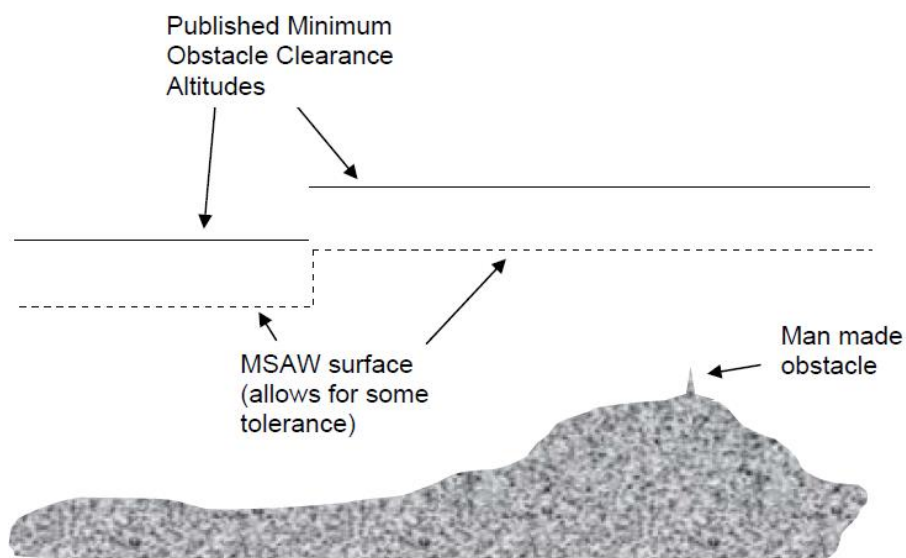
Dalším záchranným párem očí, který sleduje průběh řízení letového provozu, je systém Minimum Safe Altitude Warning (MSAW), jehož cílem je varovat řídící před situacemi, kdy letadlo letí ve výšce, ve které existuje nebezpečí kolize s terénem nebo překážkou. Funguje tedy jako prevence proti řízenému letu do terénu. Poskytnutá varování jsou stejně jako u STCA pasivní.

3.6.2.1 Vstupy a výstupy MSAW

Informace a data, které systém MSAW zpracovává, jsou velice obdobné těm, které zpracovává STCA. Proto by zde mohlo být uvedeno totožné schéma se systémem STCA. MSAW zpracovává data získaná z přehledových systémů a nutně musí mít k dispozici údaje o terénu ve vzdušném prostoru, ve kterém pracuje. Dále musí být definovány parametry, za jakých okolností indikovat varování, a samozřejmě protože jde o posuzování výšky, musí být pro systém dostupné hodnoty QNH a teploty.

3.6.2.2 Konfigurace MSAW s využitím polygonů

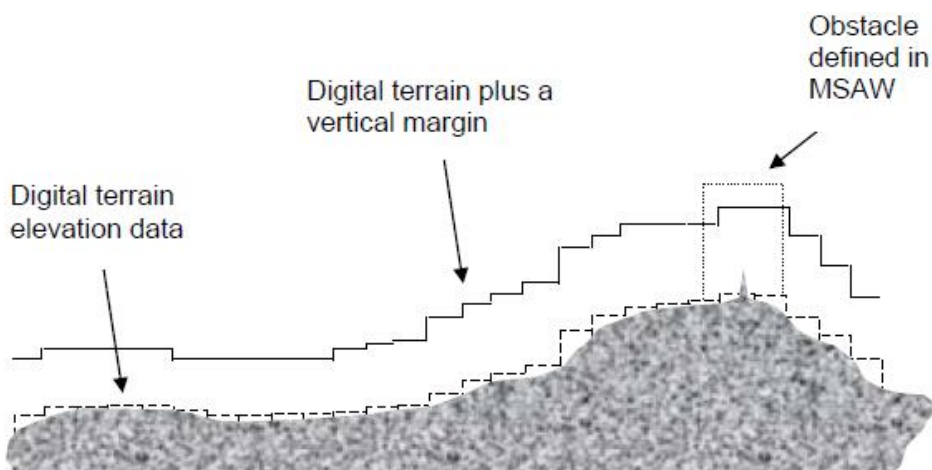
MSAW lze využívat ve dvou konfiguracích – buď bez digitálních dat o terénu ze satelitu, nebo s nimi. Konfigurace, která tato data nevyužívá, uplatňuje tzv. polygony (mnohoúhelníky). Právě pomocí těchto mnohoúhelníků a také válcových tvarů je terén vymodelován. Na obrázku 20 je ilustrován příklad, jak lze členitý terén včetně překážky vytvořené člověkem takto modelovat.



Obrázek 20 - Modelování terénu bez použití satelitních dat. [9]

3.6.2.3 Konfigurace MSAW s využitím satelitních dat

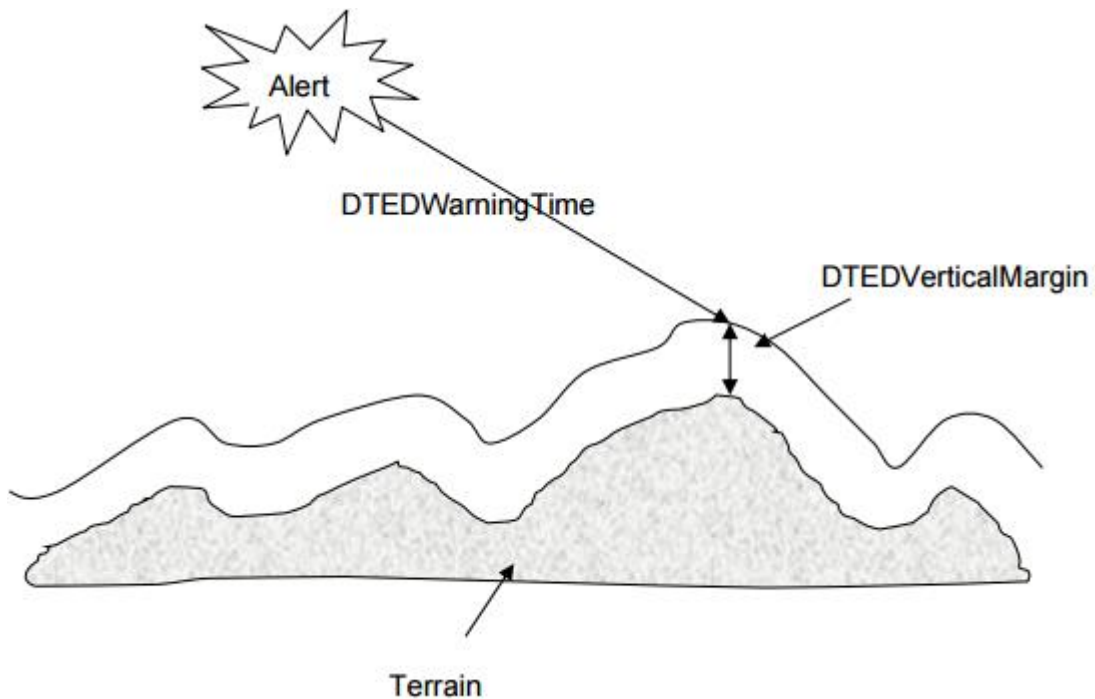
V této konfiguraci je modelování terénu a překážek provedeno s využitím digitálních satelitních dat. K terénu se navíc přičítá určitá hodnota jako náhrada za vzrostlou vegetaci a dočasné překážky. Terén se vzorkuje v pravidelných intervalech, viz obrázek 21.



Obrázek 21 - Modelování terénu s použitím satelitních dat. [9]

3.6.2.4 Vyšetření konfliktu

Budoucí poloha letadla je extrapolována z aktuální polohy do definovaného časového horizontu dvou minut. V horizontální rovině je predikce provedena opět jako extrapolovaná polopřímka z aktuální polohy a na základě aktuálního směru a rychlosti. Ve vertikální rovině je tato polopřímka určena na základě aktuální výšky a vertikální rychlosti. V případě průtů těchto predikovaných polopřímek s definovaným terénem dojde k indikaci varování.



Obrázek 22 - Ilustrace detekce konfliktu MSAW pomocí konfigurace s digitálními daty. [9]

3.6.3 Area Proximity Warning

Stejně jako dvě předchozí zmíněné Safety Nets patří mezi ty pozemní také Area Proximity Warning (APW). Záměrem této záchranné sítě je poskytnout řídicímu letového provozu varování před neautorizovaným vstupem letadla do určité části vzdušného prostoru, která je pod jistou restrikcí. V materiálech a literatuře existuje pro tento systém mnoho dalších názvů:

- Restricted Area Intrusion (RAI);
- Danger Area Infringement Warning (DAIW);
- Controlled Airspace Infringement Tool (CAIT).

Tyto názvy jsou však v průvodním materiálu vydaném EUROCONTROLEM [8] uvedeny jako sobě rovné a při jejich použití vždy označují jeden stejný systém.

3.6.3.1 Druhy APW

Funkce systému APW lze rozdělit do dvou kategorií:

1. APW, které varuje před vstupem civilního letadla do uzavřeného nebo jinak omezeného prostoru nebo do nebezpečného prostoru.
2. APW, které varuje před vstupem letadla, kterému nemají být poskytovány služby řízení letového provozu, do řízeného vzdušného prostoru (vstup ze třídy vzdušného prostoru bez služeb ŘLP do třídy, která podléhá ŘLP).

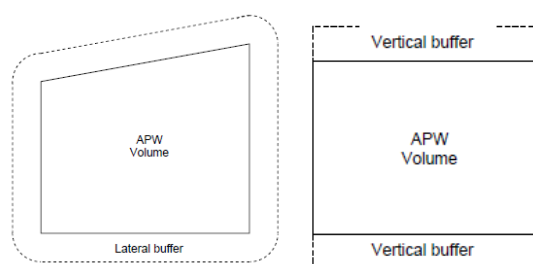
3.6.3.2 Vstupy a výstupy APW

Area Proximity Warning využívá jako vstupní data údaje z přehledových zařízení, údaje o letu z FDP. Aby celý systém mohl fungovat, nejnужnější jsou definice vzdušných prostorů a charakteristiky sledovaných sektorů. Výstupy jsou poté vedeny na stejná stanoviště jako výstupy STCA, viz obrázek 18, nejméně však na pracoviště řídicího letového provozu zodpovědného za konkrétní sektor.

3.6.3.3 Parametry APW, definice prostorů

Dle průvodního materiálu systém počítá časovou predikci konfliktu s přesností na vteřiny, vzdálenosti v horizontální rovině v námořních mílech a vertikální vzdálenosti ve stopách.

Vzdušné prostory jsou definovány jako polygony se spodní hranicí a horní hranicí. Tyto omezující vertikální hranice mohou být individuálně určeny buď výškou, nebo letovou hladinou. Např. vzdušný prostor může mít spodní hranici určenou ve výšce 3000 ft, horní hranici v letové hladině FL150. V tomto případě je nutné, aby systém měl přístup k hodnotě QNH pro určení, zda je letadlo nad nebo pod spodní hranicí. Okolo definovaných rozměrů prostorů se navíc vytváří nárazníkový prostor.



Obrázek 23 - Dodatečné prostory přidané k horizontálním (vlevo) a vertikálním (vpravo) hranicím. [8]

3.6.3.4 Vyšetření konfliktu

Pro každé letadlo, pro které jsou systému APW dostupné potřebné údaje, je jeho budoucí pozice extrapolována ze současné polohy. V případě horizontální roviny je predikce provedena jako polopřímka ze současné polohy na základě aktuální rychlosti. V případě vertikálního směru je predikce určena na základě letové hladiny (případně výšky dle QNH) a vertikální rychlosti. Konflikt je identifikován v případě, že dojde k porušení horizontálních i vertikálních hranic.

4 Vyhodnocení přínosnosti nástrojů a návrhy na zlepšení

Již několikrát bylo v této práci zdůrazněno, že vývoj letecké dopravy má stále rostoucí tendenci (viz obrázek 2) a očekává se zdvojnásobení leteckého provozu na obloze v následujících patnácti letech. Z definice kapacity vzdušného sektoru, která je uvedena v závěru první kapitoly této práce, vyplývá, že takový nárůst provozu výrazně ovlivní práci řídicích letového provozu, jejichž schopnost bezpečně provázet letadla skrze řízené sektory je právě omezena počtem letadel v daném sektoru.

Cílem této bakalářské práce bylo představit nové systémy a nástroje, které pomáhají nebo mají pomáhat řídicím letového provozu zvládnout nápor rostoucí tendence letecké dopravy při stálém dodržení přísných bezpečnostních standardů. V práci byly popsány základní myšlenky a principy fungování systémů: Predikce trajektorie, Medium Term Conflict Detection, Arrival Manager, Departure Manager, a také Safety Nets, ze kterých: Short Term Conflict Alert, Minimum Safe Altitude Warning a Area Proximity Warning. V této závěrečné části si dovoluji zrekapitulovat význam těchto systémů a jejich přínosy a navrhuji některá zlepšení.

Predikce trajektorie je základní nástroj, jehož výstupy tvoří vstupní údaje pro další zmíněné systémy a nástroje. Díky predikci jsou schopni řídicí určit nejen budoucí polohu letadla, ale také čas, ve kterém letadlo této polohy dosáhne. Jde o tzv. 4D trajektorie pohybu letadel. Příprava a návrh tohoto systému je nejnáročnější z uvedených, jelikož pohyb letadla je ovlivněn mnoha faktory, jejichž predikce není jednoduchá. Proto je potřeba věnovat maximální úsilí vývoji nových algoritmů, aby funkce tohoto nástroje byla co nejpřesnější a nejspolehlivější pro použití v dalších systémech.

Medium Term Conflict Detection využívá výstupů predikce trajektorie a na jejich základě dokáže určit, zda v určitém místě sektoru nedojde v časovém horizontu do 20 minut od současného okamžiku ke konfliktu. Tento dvacetiminutový horizont je uveden jako požadavek EUROCONTROLU, nicméně výzkum S. Alama a kolektivu [4] přináší návrhy, aby se tento časový prostor zkrátil na 15 minut. Důvod je ten, že mezi 15. a 20. minutou dochází k prudkému nárůstu počtu falešných upozornění. Při snížení požadovaného horizontu na 15 minut je počet těchto nechtěných upozornění poloviční než při horizontu 20 minut. Doporučuji tedy věnovat se vývoji MTCD v souladu s výsledky uvedeného výzkumu. Na implementaci MTCD v systému používaném DFS je snaha o eliminaci falešných upozornění patrná, jelikož uvádí jako časový horizont svého systému právě 15 minut.

MTCD umožní zejména:

- časnou identifikaci konfliktů;
- snížit pracovní zátěž výkonného řídicího;
- mít dostatečný čas pro vyřešení problému;
- zvýšit kapacitu sektoru;
- podporu pro free route airspace.

Arrival Manager a Departure Manager jsou systémy, které optimalizují pořadí letadel pro vzlet a přistání na letišti. Díky implementaci těchto systémů na letištích dojde k:

- snížení nutnosti letadel vyčkávat v definovaných vyčkávacích obrazcích;
- snížení spotřeby paliva letadel díky umožnění nepřetržitého klesání (Continuous Descent Approach);
- snížení hlukové zátěže okolí letiště, ve kterém probíhá přiblížení;
- snížení zpoždění letadel na příletu;
- snížení doby pojíždění a vyčkávání na vyčkávacím místě vzletové dráhy a tím opět snížení spotřeby paliva;
- snížení zpoždění letadel na odletu;
- zvýšení kapacity vzletové a přistávací dráhy letiště;
- zvýšení kapacity koncové řízené oblasti TMA.

Aby byl provoz v okolí letiště co nejefektivnější, doporučuji implementovat oba tyto systémy integrovaně jako jeden systém, který se bude zabývat jak přílety, tak odlety.

Safety Nets představují pro řídicí letového provozu „další pár očí“, který sleduje vývoj situace ve vzduchu, a zabraňují vzniku nežádoucích situací. Ze systémů uvedených v této práci, Short Term Conflict Alert je systém pro upozornění na hrozící konflikt v horizontu do dvou minut. Jde v podstatě o krátkodobou verzi MTCD. Minimum Safe Altitude Warning sleduje průběh letů a hlídá, aby nedošlo k řízenému letu do terénu. Poslední uvedené, Area Proximity Warning, zabraňuje neautorizovanému vstupu letadla do omezeného vzdušného prostoru.

Tyto záchranné sítě jsou již implementovány v systémech pro řízení letového provozu a jsou tak nedílnou součástí rozsáhlých opatření pro bezpečné fungování služeb řízení letového provozu. V budoucnu se dá předpokládat, že jejich použití bude nahrazeno novými systémy s integrovanými funkcemi těchto záchranných sítí. Například nástroj MTCD bude schopen zastupovat APW – jednou ze základních funkcí MTCD je vyhledávání konfliktů typu letadlo-vzdušný prostor. Právě v této integraci funkcí záchranných sítí do modernějších nástrojů vidím výhodu a další pokrok v oblasti ATM.

5 Závěr

Tato bakalářská práce měla za cíl představit některé nové nástroje pro řídicí letového provozu, které jsou nutné pro udržení efektivního toku rostoucího počtu letadel ve vzdušných prostorech při současném dodržení přísných bezpečnostních pravidel.

V úvodní kapitole práce je poskytnut stručný přehled historického vývoje profese řídicího letového provozu tak, aby bylo patrné, jakým způsobem se Air Traffic Management a řízení letového provozu vyvíjeli a jak fungují dnes. Protože profese řídicího letového provozu je založena na vyhledávání potenciálních konfliktů mezi letadly, je v této práci také tato profese podrobněji popsána, aby bylo zřejmé, jakým způsobem je bezkonfliktní průběh letů letadel zajištěn. Stěžejní kapitoly tvoří představení nejnovějších nástrojů, které pomáhají řídicím při výkonu jejich práce, spolu s uvedením několika návrhů na zlepšení.

Při zpracování bakalářské práce jsem vycházel především z rešerše odborné literatury zaměřené na vývoj a historii řízení letového provozu. Popis současného stavu nástrojů byl zpracován pomocí průvodních materiálů a operačních manuálů EUROCONTROLU. Významné a podrobné informace byly získány z odborných článků a také z návštěv řídicích letového provozu a následných konzultací s nimi.

Na úplný závěr této práce cítím nutnost uvést vlastní subjektivní pocit nabytý během konverzací s některými zaměstnanci některých poskytovatelů služeb řízení letového provozu. Nabyl jsem dojmu, že ne všichni poskytovatelé sdílí stejný přístup například k implementaci systému MTCD. Věřím, že největším přínosem by v současné situaci byla ještě větší spolupráce mezi jednotlivými poskytovateli a aby filozofie, které se snaží následovat, byly totožné. Jen v takovém případě je možné vytvořit nad Evropou jednotné nebe, jak to současný Air Traffic Management potřebuje a jak to mezinárodní programy a projekty požadují.

6 Použité zdroje

6.1 Literatura

- [1] COOK, Andrew. *European air traffic management: principles, practice and research*. Aldershot: Ashgate, c2007. ISBN 978-0-7546-7295-1.
- [2] KULČÁK, Ludvík. *Air traffic management*. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-7204-229-7.
- [3] NOLAN, Michael S. *Fundamentals of air traffic control*. 4th ed. Belmont: Brooks/Cole, c2004. ISBN 0-534-39388-8.

6.2 Internetové zdroje

6.2.1 Elektronické články

- [4] ALAM, S., J. BEERS, H. A. ABBASS a C. J. LOKAN. Computational Red Teaming to investigate Failure Patterns in Medium Term Conflict Detection. *Eurocontrol Innovation Research Workshop* [online]. Francie, 2009 [cit. 2016-08-17]. Dostupné z: http://www.eurocontrol.int/eec/gallery/content/public/documents/Innovative_Studies/grants/Computational%20Red%20Teaming%20to%20Investigate%20Failure%20Patterns%20in%20Medium%20Term%20Conflict%20Detection.pdf
- [5] AIRBUS. *Global Market Forecast 2016-2035* [online]. [cit. 2016-07-13]. Dostupné z: http://www.airbus.com/company/market/global-market-forecast-2016-2035/?eID=maglisting_push&tx_maglisting_pi1%5BdocID%5D=109228
- [6] EUROCONTROL. *Arrival Manager: Implementation Guidelines and Lessons Learned* [online]. 2010. [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/article/content/documents/nm/fasti-aman-guidelines-2010.pdf>
- [7] EUROCONTROL. *European Medium-Term Conflict Detection Field Trials Presentation* [online]. 2002. [cit. 2016-07-19]. Dostupné z: http://www.nextor.org/Conferences/200306_Research_Seminar/European-Medium-Term-Conf.pdf
- [8] EUROCONTROL. *Guidance Material for Area Proximity Warning* [online]. 2009 [cit. 2016-08-15]. Dostupné z: <http://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/20090519-apw-guid-v1.0.pdf>
- [9] EUROCONTROL. *Guidance Material for Minimum Safe Altitude Warning* [online]. 2009 [cit. 2016-08-05]. Dostupné z:

- <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/20090519-msaw-guid-v1.0.pdf>
- [10] EUROCONTROL. *Guidance Material for Short Term Conflict Alert* [online]. 2009 [cit. 2016-08-05]. Dostupné z: <http://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/20090519-stca-guid-v2.0.pdf>
- [11] EUROCONTROL. *MTCD Concept of Operation EATCHIP III Evaluation and Demonstration* [online]. 1999 [cit. 2016-07-21]. Dostupné z: https://www.eurocontrol.int/eec/public/standard_page/DOC_Report_2000_028.html
- [12] EUROCONTROL. *Specification for Medium-Term Conflict Detection* [online]. 2010 [cit. 2016-07-21]. Dostupné z: <http://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/20100715-mtcd-spec-v1.0.pdf>
- [13] EUROCONTROL. *Specification for Minimum Safe Altitude Warning* [online]. 2009 [cit. 2016-08-05]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/nm/safety/eurocontrol-specification-for-minimum-safe-altitude-warning-updated-edition-0-9-dated-19-may-2009.pdf>
- [14] EUROCONTROL. *Specification for Short Term Conflict Alert* [online]. 2007 [cit. 2016-08-05]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/20071122-stca-spe-v1.0.pdf>
- [15] EUROCONTROL. *Specification for Trajectory Prediction* [online]. 2010 [cit. 2016-07-19]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/20100715-trajectory-prediction-spec-v1.0.pdf>
- [16] KAUPPINEN, S., C. BRAIN a M. MOORE. European medium-term conflict detection field trials [ATC]. *Proceedings. The 21st Digital Avionics Systems Conference* [online]. IEEE, 2002, , 2C1-1-2C1-12 [cit. 2016-07-19]. DOI: 10.1109/DASC.2002.1067918. ISBN 0-7803-7367-7. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1067918>
- [17] LEARMOUNT, David. *iFACTS poised to transform ATC* [online]. London: Reed Business Information UK, 2007. 10 s. Název - NATS Ltd; Copyright - Copyright Reed Business Information UK Mar 13-Mar 19, 2007. Dostupné z: <http://search.proquest.com.ezproxy.techlib.cz/docview/225087891/fulltextPDF/6516C25F2CFB4246PQ/1?accountid=119841>

- [18] SESAR. *I-4D Flying a New Dimension* [online]. [cit. 2016-07-15]. Dostupné z: <http://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/highlight/i4d-factsheet.pdf>
- [19] SCHUSTER, Wolfgang, Washington OCHIENG a Marco PORRETTA. High-performance trajectory prediction for civil aircraft. *29th Digital Avionics Systems Conference* [online]. IEEE, 2010, 1.C.3-1-1.C.3-9 [cit. 2016-08-22]. DOI: 10.1109/DASC.2010.5655515. ISBN 978-1-4244-6616-0. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5655515>
- [20] VINK, A., S. KAUPPINEN, J. BEERS a KOEN DE JONG. Medium term conflict detection in EATCHIP phase III. *16th DASC. AIAA/IEEE Digital Avionics Systems Conference. Reflections to the Future. Proceedings* [online]. IEEE, 1997, , 9.3-45-9.3-52 [cit. 2016-07-19]. DOI: 10.1109/DASC.1997.637322. ISBN 0-7803-4150-3. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=637322>

6.2.2 Ostatní internetové zdroje

- [21] *Background On Single European Sky*. SESAR JU [online]. [cit. 2016-07-11]. Dostupné z: <http://www.sesarju.eu/discover-sesar/history/background-ses>
- [22] *Departure Management* [online]. EUROCONTROL [cit. 2016-08-01]. Dostupné z: https://www.eurocontrol.int/phare/public/standard_page/Departure_Mgt.html
- [23] *DMAN Baseline for integrated AMAN DMAN* [online]. SESAR [cit. 2016-08-03]. Dostupné z: <http://www.sesarju.eu/sesar-solutions/traffic-synchronisation/dman-baseline-integrated-aman-dman>
- [24] *IFACTS in UK ATC: Facts for Pilots* [online]. NATS [cit. 2016-07-28]. Dostupné z: <http://www.ukfsc.co.uk/files/External%20Meetings/NATS%20SPA%202012/NATS%20SPA%20iFacts%20May%202014.pdf>
- [25] *Infographic: Point Merge* [online]. NATS [cit. 2016-07-27]. Dostupné z: <http://nats.aero/blog/point-merge-infographic/>
- [26] *Is this the end of stack holding?* [online]. NATS [cit. 2016-07-27]. Dostupné z: <http://nats.aero/blog/2016/05/is-this-the-end-of-stack-holding/>
- [27] *Letecký předpis: Letové provozní služby* [online]. Řízení letového provozu České republiky Letecká informační služba [cit. 2016-07-09]. Dostupné z: <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
- [28] *Maestro* [online]. THALES [cit. 2016-08-04]. Dostupné z: https://www.thalesgroup.com/sites/default/files/asset/document/maestro_datasheet.pdf
- [29] *Research and Innovation* [online]. NATS [cit. 2016-07-28]. Dostupné z: <http://www.nats.aero/about-us/research-innovation/>

- [30] *Safety Nets* [online]. EUROCONTROL [cit. 2016-08-04]. Dostupné z:
<http://www.eurocontrol.int/safety-nets>
- [31] *Thales Automation System main features* [online]. THALES [cit. 2016-08-01].
Dostupné z:
<http://www2010.icao.int/NACC/documents/meetings/2014/autoswim/autoswimp05.pdf>

7 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Rozšířený popis letadla na radarové obrazovce. [foto: autor].....	15
Obrázek 2 - Letecká doprava bude za 15 let dvojnásobná. [5].....	16
Obrázek 3 - Schéma predikce trajektorie.	17
Obrázek 4 - Predikce trajektorie. Předpokládá se stoupání co nejdříve a klesání co nejpozději. [7]	18
Obrázek 5 - Schéma vstupů do systému MTCD.	21
Obrázek 6 - Přehled dělení konfliktů.	22
Obrázek 7 - Vertikální oblasti nejistoty. [20]	24
Obrázek 8 - Horizontální nejistota trajektorie. [20].....	24
Obrázek 9 - Vyhodnocení polohy segmentů dvou trajektorií. [20]	25
Obrázek 10 - Zobrazení konfliktů na obrazovce řídicího. [24]	27
Obrázek 11 - Zobrazení vytvořené sekvence letadel v podobě tzv. time-line na obrazovce řídicího. [6].....	29
Obrázek 12 - Možné zobrazení doporučení na radarové obrazovce. [6]	29
Obrázek 13 - Ilustrace metody Point Merge. [25]	31
Obrázek 14 - Point Merge na letišti Londýn-City. [26]	31
Obrázek 15 - Průběh odletu letadla. [23].....	33
Obrázek 16 - Integrace funkcí AMAN a DMAN. [28]	35
Obrázek 17 - Zjednodušená smyčka popisující řízení letového provozu. [14]	36
Obrázek 18 - Schéma systému STCA.	37
Obrázek 19 - Časová posloupnost varování systémů pro detekci konfliktů	38
Obrázek 20 - Modelování terénu bez použití satelitních dat. [9]	39
Obrázek 21 - Modelování terénu s použitím satelitních dat. [9]	39
Obrázek 22 - Ilustrace detekce konfliktu MSAW pomocí konfigurace s digitálními daty. [9]..	40
Obrázek 23 - Dodatečné prostory přidání k horizontálním (vlevo) a vertikálním (vpravo) hranicím. [8].....	41