



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

PROBLEMATIKA ZAVÁDĚNÍ CONTINUOUS DESCENT APPROACH A JEJICH DOPAD NA KAPACITU VZDUŠNÉHO PROSTORU

THE ISSUE OF IMPLEMENTATION OF CONTINUOUS DESCENT APPROACH AND IMPACT ON
AIRSPACE CAPACITY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JAKUB ZOUHAR

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MIROSLAV ŠPLÍCHAL, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jakub Zouhar

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

obor: **Letecký provoz (3708T011)**

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

Problematika zavádění Continuous descent approach a jejich dopad na kapacitu vzdušného prostoru

v anglickém jazyce:

The issue of implementation of Continuous descent approach and impact on airspace capacity

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Continuous descent approach je postup, při kterém letoun plynule sestupuje z letové hladiny.

Cílem tohoto postupu je minimalizace hlukové zátěže v okolí letišť a úspory leteckého paliva.

Úkolem práce je podrobný rozbor těchto postupů a zhodnocení možných dopadů na kapacitu vzdušného prostoru.

Cíle diplomové práce:

Popis současného stavu v zavádění postupů Continuous descent approach v evropském regionu a perspektivy vývoje v krátkodobém a střednědobém horizontu.

Provedení analýzy dopadů rozsáhlé aplikace postupů Continuous descent approach na kapacitu vzdušného prostoru letiště Praha – Ruzyně.

Na základě výsledků zjištěných analýzou pak navrhnout vhodná opatření.

Seznam odborné literatury:

[1]KULČÁK, Ludvík. Air Traffic Managemet. Brno: CERM, 2002, 314 s. ISBN 80-7204-229-7.

[2]COOK, Andrew. European air traffic management: principles, practice and research. Aldershot: Ashgate, c2007, xvii, 260 s. ISBN 978-0-7546-7295-1.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Miroslav Šplíchal, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 24.10.2013

L.S.

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

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na postup přiblížení k letišti technikou continuous descent approach a vliv postupu na kapacitu vzdušného prostoru. První část práce je věnována teoretickému popisu postupu a zhodnocení současné situace zavádění continuous descent approach na evropských letištích. Dopad na kapacitu vzdušného prostoru je demonstrován podrobnou analýzou aplikace postupu v prostředí letiště Praha – Ruzyně. Cílem analýzy je definování kritických oblastí, které musí být před trvalým zavedením postupu vyřešeny. V dalších kapitolách jsou představena možná řešení konfliktních míst v nynějších provozních podmínkách a po zavedení konceptu 4D trajektorie. Poslední část je zaměřena na aplikaci continuous descent approach na letišti Praha – Ruzyně po vybudování paralelní vzletové a přistávací dráhy.

Klíčová slova

Přiblížení ustálením klesáním, rozstup, konflikt, kapacita, standardní přístrojový přilet, standardní přístrojový odlet, vzletová a přistávací dráha.

Abstract

This master's thesis is focused on the continuous descent approach procedure and its impact on the airspace capacity. The first part is devoted to the theoretical description of the procedure and the assessment of the current situation in implementation of continuous descent approach at the European airports. The impact on the airspace capacity is demonstrated by a detailed analysis of the procedure application at Praha – Ruzyně airport. The aim of the analysis is to define critical areas that have to be solved before permanent application of the procedure. In the following chapters there are presented possible solutions of conflict spots in the current operational environment and in the future after implementation of 4D trajectory concept as well. The last part is focused on the application of continuous descent approach at Praha – Ruzyně airport after the construction of a parallel runway.

Key words

Continuous descent approach, separation, conflict, capacity, standard instrument arrival, standard instrument departure, runway.

Bibliografická citace:

ZOUHAR, J. *Problematika zavádění Continuous descent approach a jejich dopad na kapacitu vzdušného prostoru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 81 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Miroslav Šplíchal, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že zadanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce pana Ing. Miroslava Šplíchala, Ph.D. a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

V Brně dne 27. května 2014

.....
Bc. Jakub Zouhar

Poděkování

Děkuji panu Ing. Miroslavu Šplíchalovi, Ph.D. za odborné vedení, vstřícnost při konzultacích, věcné připomínky a cenné rady k zpracování diplomové práce. Mé poděkování patří také mým blízkým, kteří mě ve studiu podporovali a vytvořili podmínky k jeho úspěšnému zakončení.

OBSAH

OBSAH	9
Úvod	11
1. CDA – Continuous descent approach	13
1.1 Definice CDA	13
1.2 Výhody a nevýhody CDA	14
1.3 Základní způsoby návrhu příletových tratí	15
1.3.1 Close Path Design	15
1.3.2 Open Path Design	16
1.4 Úprava rozstupů mezi letadly při přiblížení	17
1.5 Návrh koridoru pro CDA	19
1.5.1 Návrh koridoru pro Close Path Design	19
1.6 Dílčí závěr	22
2. Zavádění CDA na evropských letištích	23
2.1 Současné zavádění CDA v Evropě a perspektivy jeho vývoje	23
2.2 Jednotné evropské nebe	25
2.3 Dílčí závěr	26
3. Vliv Continuous Descent Approach na kapacitu vzdušného prostoru letiště Praha – Ruzyně	28
3.1 Letiště Praha – Ruzyně	28
3.1.1 Dráhový systém letiště LKPR	28
3.1.2 Vzdušný prostor letových provozních služeb	29
3.1.3 Přílety a odlety na LKPR	30
3.1.4 Testování continuous descent approach na LKPR	31
3.1.5 RNAV Validation Tool	32
3.2 Analýza tratí standardního přístrojového přiblížení RWY24	32
3.2.1 CDA RNAV STAR RWY24	32
3.2.2 Konflikt s odletovými tratěmi	38
3.2.3 Konflikt na příletu	41
3.3 Analýza tratí standardního přístrojového přiblížení RWY06	41
3.3.1 CDA RNAV STAR RWY06	42
3.3.2 Konflikt s odletovými tratěmi	46
3.3.3 Konflikt na příletu	48
3.4 Dílčí závěr	49
4. Návrh řešení konfliktů v současném provozním prostředí	51
4.1 Konflikt s odletovými tratěmi	51
4.1.1 Vertikální omezení traťových bodů	51
4.1.2 Zařazení horizontálního segmentu	52
4.1.3 Analýza navrženého systému příletových tratí	56

4.1.4 Další možná řešení	60
4.2 Konflikt na příletu a vytvoření sekvence	61
4.3 Dílčí závěr	63
5. Budoucnost při zavádění CDA.....	64
5.1 4D trajektorie.....	64
5.1.1 Systém řízení a sdílení informací	65
5.2 Nástroje pro řízení letového provozu.....	67
5.3 Dílčí závěr	68
6. Paralelní dráha na letišti LKPR	69
6.1 Návrh systému příletových tratí	69
6.2 Dílčí závěr	72
Závěr.....	73
Seznam použité literatury	75
Seznam použitých zkratk.....	78
Seznam příloh.....	81

Úvod

Letecká doprava se od svého vzniku považuje za nejdynamičtěji se rozvíjející druh dopravy. Jedna ze základních rolí, kterou letecká doprava a celý letecký průmysl plní, je podílení se na tvorbě světové ekonomiky. Letecká doprava nemotivuje pouze k rozvoji turismu, který přináší příjmy každému státu, ale má také přímý vliv na řadu jiných průmyslových odvětví, která ovlivňují globální ekonomiku. V současné době činí roční nárůst světové letecké dopravy 5 – 6%. Dle dlouhodobějších statistik to odpovídá zhruba dvojnásobku nárůstu HDP, jehož hodnota se průměrně zvyšuje o 2 – 3% ročně.^[12]

Díky neustálému růstu letecké dopravy je zapotřebí již dopředu řešit problémy s kapacitou vzdušného prostoru, které by mohly v budoucnosti nastat. V nynější době se vyvíjí nové technologie a provozní postupy, které by měly případné problémy v budoucnosti vyřešit. Inovace v letovém provozu jsou navrhovány nejen s ohledem na životní prostředí, aby dopad na něj byl co nejmenší, ale také s důrazem na zjednodušení přepravního procesu ve všech jeho fázích, které by měly přinést úspory leteckým společnostem.

CDA (Continuous Descent Approach) je postup využívající techniku ustáleného klesání, jehož hlavní předností je úspora paliva z důvodu volnoběžných otáček motoru během klesání a snížení negativního dopadu letecké dopravy na životní prostředí v blízkosti letišť. První postup CDA byl vůbec poprvé testován na švédském letišti Stockholm – Arlanda (ESSA). Nyní je na tomto letišti postup CDA dostupný pro RWY01L, 19R a 26. Kromě pozitivních dopadů se s tímto postupem pojí řada komplikací, které mohou vést ke snížení propustnosti vzdušného prostoru v blízkosti letiště. Průběh vertikálního profilu klesání k letišti je ovlivňován celou řadou vnějších faktorů. To vede ke snížení předvídatelnosti polohy letadla v prostoru, z čehož například pramení jedna z oblastí vzniku konfliktu s okolním provozem. Navíc provozní situace v okolí každého letiště je jiná. Proto je nutné pro každé letiště navrhnout speciální postupy a nelze systém zavádění tohoto postupu unifikovat.

O vytvoření tlaku na zavedení provozních opatření, která by vedla ke snížení spotřeby paliva, se zasloužily letecké společnosti. Ty žádaly u mezinárodních organizací taktický a efektivní zásah proti narůstajícím cenám leteckého paliva v období let 2000 až 2008, kdy cena za jeden barel ropy stoupla čtyřnásobně. Výsledkem byla snaha o široké zavádění postupu CDA na letištích v evropském regionu.

Tato diplomová práce se zabývá problematikou zavádění postupu CDA na letištích a jeho vlivem na letový provoz v okolí letišť. První část práce je zaměřena na představení postupu CDA a zhodnocení současné a budoucí situace zavádění tohoto postupu na evropských letištích. Součástí jedné s kapitol je představení doporučení pro tvorbu příletových tratí v závislosti na provozním prostředí okolí letiště.

Dopad zavádění CDA na kapacitu vzdušného prostoru na letištích je demonstrován podrobným rozбором případné implementace postupu na největším českém mezinárodním letišti Praha – Ruzyně. Jako podklad k rozboru situace na LKPR, byly převzaty příletové tratě, které byly publikovány cestou AIP SUP 5/11 a navrženy pro testování přínosu CDA na LKPR pro RWY24 v roce 2011. Na základě publikovaných tratí, je navržen systém příletových tratí pro RWY06. Vzniklý systém příletových tratí pro RWY06/24 je podle stanovených oblastí možných vzniků konfliktu podroben analýze. Jsou zde identifikovány hlavní kritická místa, které je nutné vyřešit před zavedením tohoto postupu do provozu.

Další část práce představuje možná řešení problematických míst jak v dnešním provozním prostředí, tak i s uvážením nově vyvíjených technologií a provozních konceptů v oblasti řízení a plánování toku letového provozu nad evropským kontinentem. Je zde představen koncept 4D trajektorie a jeho přínos pro zavádění CDA na letištích. Poslední kapitola pojednává o možném řešení situace v rámci LKPR po zprovoznění paralelní vzletové

a přistávací dráhy. Součástí této kapitoly je návrh příletových tratí pro RWY24 s vhodným využitím metody Merge Point.

Pro testování navržených příletových tratí a identifikování konfliktů s odletovými tratěmi je využit software RNAV Validation Tool. Software umožňuje nadefinování letových tratí v souladu s požadovanou úrovní prostorové navigace a následné testování širokou nabídkou letadel různých váhových kategorií. Pro názornost jsou v práci uvedeny 3D vizualizace pro zobrazení konfliktních míst a navrhnutého řešení.

1. CDA – Continuous descent approach

Tato kapitola slouží k představení postupu CDA a uvedení do problematiky, která je s postupem spojena. Jsou zde definovány základní rysy, výhody a nevýhody, kterým je potřeba při zavádění postupu do provozu věnovat náležitou pozornost. Dále jsou zde představena některá doporučení pro návrh příletových tratí z *ICAO Doc 9931*, který je v seznamu použité literatury uveden pod číslem 3.

1.1 Definice CDA

Při práci z dokumenty zabývající se problematikou CDA je nutné si uvědomit, že pojem CDA (Continuous descent Approach) je zcela zaměnitelný s pojmem CDO (Continuous Descent Operations) a ve všech případech jsou chápány jako totéž. ^[6]

Definice CDA dle ICAO Doc 9931:

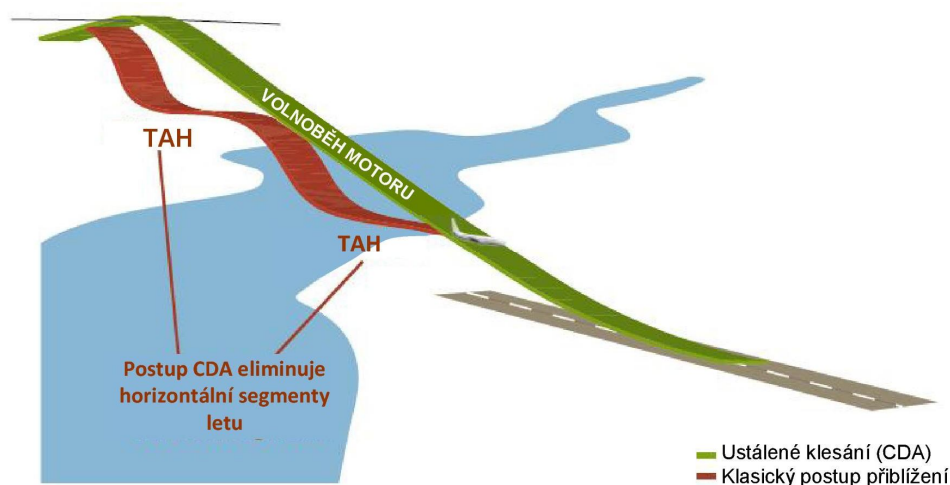
„An operation, enabled by airspace design, procedure design and ATC facilitation, in which an arriving aircraft descends continuously, to the greatest possible extent, by employing minimum engine thrust, ideally in a low drag configuration, prior to the final approach fix/final approach point.

Note 1 — An optimum CDA starts from the top of descent and uses descent profiles that reduce segments of level flight, noise, fuel burn, emissions and controller/pilot communications, while increasing predictability to pilots and controllers and flight stability.

Note 2 — A CDA initiated from the highest possible level in the enroute or arrival phases of flight will achieve the maximum reduction in fuel burn, noise and emissions.” ^[3]

Definice CDA dle EUROCONTROL:

„CDA is an aircraft operating technique in which an arriving aircraft descends from an optimal position with minimal thrust and avoids level flight to extent permitted by the safe operation of the aircraft compliance with published procedures and ATC instruction.” ^[7]



Obr. 1.1 Srovnání postupu přiblížení ustáleným klesáním s klasickým „schodovitým“ postupem přiblížením ^[6]

Z uvedených definic vyplývá, že CDA je postup přiblížení k letišti využívající techniku ustáleného klesání pod konstantním úhel. Během přiblížení by mělo být využíváno minimálních otáček motorů. Konfigurace letadla by měla být volena tak, aby mělo letadlo co nejmenší odpor a nejlepší aerodynamické vlastnosti. V ideálním případě by měl být tento postup zahájen z cestovní hladiny letadla nebo maximální možné výšky ToD (Top of Descent) po co nejdelší dobu fáze přiblížení k letišti určení. CDA by mělo být ukončeno před dosažením fixu/bodu konečného přiblížení (FAF/FAP). Dalším charakteristickým znakem CDA je vyhnutí se horizontálnímu letu během celé fáze přiblížení. Aplikace CDA vede ke snížení spotřeby paliva, snížení vyprodukovaných emisí CO₂ a snížení znečištění okolí hlukem. Zavedení CDA by mělo být umožněno vhodným uspořádáním vzdušného prostoru v blízkosti letiště. V žádném případě nesmí dojít ke snížení bezpečnosti a porušení operačních postupů a instrukcí řídicích letového provozu.

Definice CDA jsou zde uvedeny v anglickém jazyce, protože v současné době neexistuje oficiální překlad v jazyce českém. Proto jsem se rozhodl definice uvést v originálním znění z oficiálních mezinárodních dokumentů a následně vysvětlit hlavní podstatu postupu svými slovy na základě uvedených definic.

1.2 Výhody a nevýhody CDA

Postup CDA přináší na jedné straně spoustu pozitivních dopadů na letový provoz, ale na druhou stranu může způsobit potíže, které mohou vyloučit aplikovatelnost CDA na daném letišti při využití stávajících technologií a postupů. V následujícím textu jsou uvedeny obecné výhody definované v manuálu zabývající se problematikou zavádění CDA na letištích – *ICAO Doc 9931*. Nevýhody jsou uvedeny také ve výše zmíněném dokumentu, ale jsou doplněny o další, které byly zjištěny na základě výsledků analýzy, jejichž podrobné výsledky budou představeny v dalších kapitolách práce.

Výhody:

- efektivnější využívání vzdušného prostoru a rozmístění příletových tratí,
- stálejší letové tratě,
- stabilní přiblížení k letišti (vyšší bezpečnost a možnost reagovat na nepředvídatelné události),
- snížení pracovní zátěže pilotů a řídicích letového provozu,
- snížení v počtu zpráv radiové korespondence,
- snížení nákladů a dopadů letového provozu na životní prostředí,
- snížení počtu incidentů týkajících se Control Flight into Terrain („řízený let do terénu“),
- povolení letů na letištích nebo v oblastech, ve kterých by kvůli hlukovému omezení nemohly být povoleny,
- snížení celkového času přiblížení k letišti. ^[3]

Nevýhody:

- nemožnost přesné predikce profilu sestupové trati řídicím letového provozu z důvodu závislosti optimální sestupové roviny následujících faktorech:
 - typ letounu,
 - aktuální hmotnost letounu,
 - směr a rychlost větru,
 - teplota vzduchu,

- atmosférický tlak,
- námraza,
- další proměnné faktory,
- jakýkoliv zásah řídicího letového provozu do rychlosti letounu nebo jeho kurzu může vést ke snížení přínosů CDA, ^[3]
- komplikovanost využití v hustém letovém provozu,
- problémy s udržení předepsaných podélných a příčných rozstupů mezi letovým provozem na příletových a odletových tratích,
- maximální využití přínosů CDA vyžaduje aplikaci nových technologií,
- změny v rozdělení vzdušného prostoru v blízkosti letiště a potřeba vytvoření nových a jednoduchých koordinačních postupů pro spolupracující stanoviště řízení letového provozu.

1.3 Základní způsoby návrhu příletových tratí

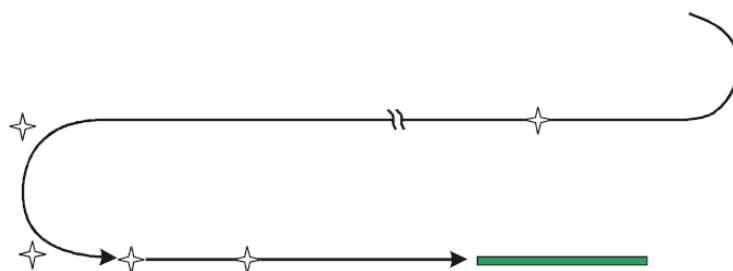
Technika přiblížení ustáleným klesáním je známa poměrně dlouhou dobu. Díky dnešní snaze o zavedení CDA na vytížených evropských letištích bylo potřeba vytvořit manuál, který by stanovil základní pravidla pro jeho zavádění do provozu v závislosti na okolní provozní situaci a vytížení letiště při využití dnešních postupů a technologií. Výběr vhodného návrhu CDA závisí také na kapacitách příletových a odletových tratí a kapacitě samotného TMA letiště. *ICAO Doc 9931* definuje 2 základní způsoby návrhu příletových, které jsou Open Path Design a Close Path Design.

Pro aplikaci CDA je velmi důležitá přesná znalost vzdálenosti letadla od prahu dráhy (THR). Pilot je následně schopen aktualizovat data v systému pro řízení a optimalizaci letu (FMS), která zvýší přesnost plánování vertikálního profilu sestupové roviny a určení ToD. Přesnost je navíc ovlivňována vnějšími faktory jako je počasí (výškový vítr, sestupné a vzestupné proudy, teplota...), proto je přesná znalost vzdálenosti od THR velice důležitá. Na základě zvoleného návrhu příletových tratí je informace o vzdálenosti letadla od THR známá v jakémkoliv okamžiku letu (Close Path Design) nebo musí být předávána řídicím letového provozu (Open Path Design).

1.3.1 Close Path Design

Jedná se o způsob, u kterého je příletová trať přesně definována a publikována. Pilot zná přesnou vzdálenost od prahu RWY od okamžiku jejího nalétnutí, což mu umožňuje určit nejvýhodnější ToD. Postup může být omezený průlety v daných letových hladinách nad traťovými body, tzv. „průletovými okny“ (level windows – rozmezí hladin, ve kterých se letadlo musí pohybovat při průletu nad daným traťovým bodem) nebo rychlostí (omezení rychlosti pod FL 100 – IAS 250 kt nebo maximální rychlostí pro vlet do TMA). Navržená trať může v sobě zahrnovat standardní příletovou trať (STAR) a počáteční fázi přiblížení až do FAF/FAP. ^[3]

Výhodou tohoto návrhu je přesná znalost vzdálenosti letadla od THR v jakémkoliv okamžiku přiblížení. Přesná znalost vzdálenosti od THR umožňuje FMS vypočítat optimální rovinu klesání. Příklad příletové trati je znázorněn na obr. 1.2. Tento způsob návrhu příletových tratí je vhodný pro prostředí s vyšší hustotou letového provozu, kde dodržování tratí je nutné z důvodu udržení kapacity vzdušeného prostoru. ^[3]



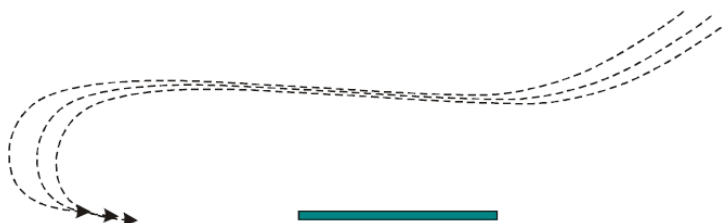
Obr. 1.2 Close Path Design ^[3]

1.3.2 Open Path Design

Tento způsob se od předchozího liší především tím, že konečná část nebo celá příletová trať je předmětem vektorování řídicím letového provozu. Přesná vzdálenost od prahu dráhy není před samotným zahájením CDA známa a tato informace musí být pilotovi předávána řídicím letového provozu. ^[3]

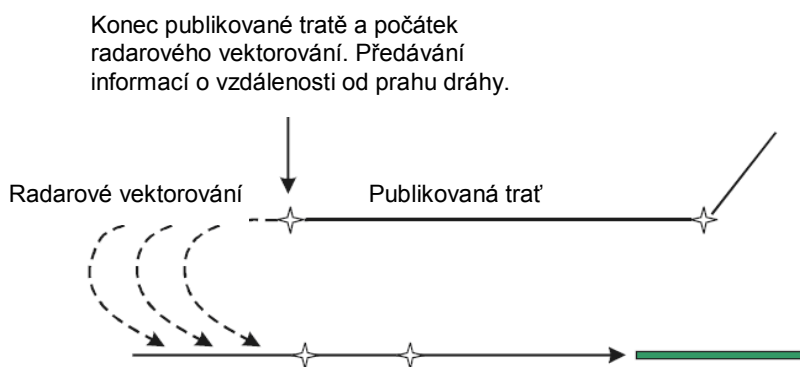
Základní možnosti návrhu Open Path Design:

- Vected CDO procedure
Letadlo je po celou dobu vektorováno a předpokládaná vzdálenost od prahu RWY je pilotovi předávána řídicím letového provozu. Pilot obdrží povolení k zahájení klesání dle svého uvážení. ^[3]



Obr. 1.3 Procedura Open Path využívající vektorování ^[3]

- Open CDO procedure to downwind
Tento způsob je kombinací obou předchozích způsobů. Část příletové trati je přesně definovaná a konečná část trati podléhá vektorování řídicím letového provozu. Předepsaná část příletové trati obvykle končí v pozici po větru. Následně je letadlo vektorováno v závislosti na požadované sekvenci na přistání a zajištění rozstupů s ostatním provozem na příletu k letišti. ^[3]



Obr. 1.4 Procedura Open Path začínající v poloze po větru ^[3]

1.4 Úprava rozstupů mezi letadly při přiblížení

ICAO Doc 9931 se zabývá problematikou způsobů určených pro řízení letového provozu k udržení požadovaných podélných a příčných rozstupů mezi letadly. Jednotlivé metody pro úpravu rozstupů mezi letadly na přiblížení k letišti mají své výhody a nevýhody. Vhodnost metod závisí na dané provozní situaci.

- Sequencing methods

Tyto metody pro úpravu rozstupů mezi letadly a vytváření požadované sekvence na přistání by se měly především používat při nízké hustotě letového provozu. Jsou použitelné jak pro Close Path Design, tak i pro Open Path Design.

- Speed (řízení rychlosti letadla)

Jedná se o neefektivnější způsob, kterým je možné provést malé korekce ve velikostech podélných rozstupů mezi letadly. V některých případech může být výhodné zahrnout rychlostní omezení přímo do publikovaných postupů CDA. Například od určitého traťového bodu nebo letové hladiny/nadmořské výšky nesmí letadlo letět rychleji, než je stanovená rychlost nebo je definovaná přesná hodnota rychlosti (přesná hodnota rychlosti snižuje využití výhod CDA v jejich plném rozsahu).

Výhodou této metody je její jednoduchost a předvídatelnost. Malé úpravy rychlosti by měly letadlům umožnit dodržet publikované postupy CDA i při využití způsobu CDA Close Path Design.

Hlavní nevýhodou této metody je, že při velkých úpravách rychlostí letadel, může dojít k narušení optimálního vertikálního profilu klesání. V krajním případě by mohlo znemožnit využití postupu CDA. ^[3]

- Vectoring (vektorování)

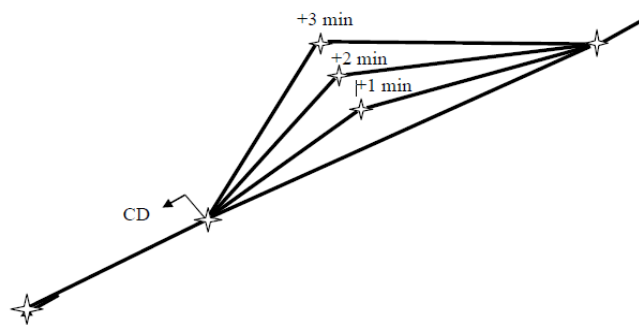
Vektorování je nejvíce flexibilní metoda pro řízení přilétávajícího provozu, pomocí které je možné udržet požadované rozstupy mezi letadly a kapacitu vzdušného prostoru. Bohužel se většinou jedná o zásah, který není plánován dostatečně dopředu, což tuto metodu odsouvá na poslední místo z pohledu předvídatelnosti, tj. znalosti přesné vzdálenosti od prahu dráhy, což je pro postupy CDA klíčové. Pilot je nucen okamžitě reagovat na změny kurzu a není schopen naplánovat nejvýhodnější profil trati pro využití CDA. Pro zmenšení dopadu vektorování by řízení letového provozu měl předávat alespoň předpokládanou vzdálenost k prahu dráhy pro snížení nejistoty kdy a kde zahájit postup CDA (určení ToD).

Vektorování při Open Path Design je většinou využito pro udržení řazení letadel na přistání nebo k udržení požadovaného rozmístění letového provozu ve vzdušném prostoru (spacing).

U navrhnutého postupu CDA Close Path Design, by se mělo preferovat využití řízení rychlosti letadel k zajištění podélných rozstupů. Pokud řízení rychlostí letadel nepřipadá v úvahu, ale podaří se i přes vektorování udržet letadlo na publikované trati, dnešní palubní počítače FMS by měly být schopny přepočítat parametry letu a podle vzdálenosti od prahu dráhy zvolit nejvýhodnější konfiguraci letadla a vertikální profil letu. ^[3]

- Automated Sequencing Methods (metody automatizovaného řazení)
Tyto metody využívají automatizované systémy, které se používají pro efektivní plánování a poskytují okamžité informace o jakýchkoliv úpravách trajektorií letů před zahájením CDA. Tyto automatizované systémy se rychle vyvíjejí a v budoucnosti budou hrát významnou roli v systému řízení letového provozu a efektivního řazení letadel na příletu k letišti. Využití těchto systémů bude přínosem i pro řízení sekvence letadel na odletu a vydávání povolení ke spouštění motorů letadel. Výsledkem bude snížení doby strávené letadly na zemi se spuštěnými motory. ^[3]

- Path Stretching Method Design

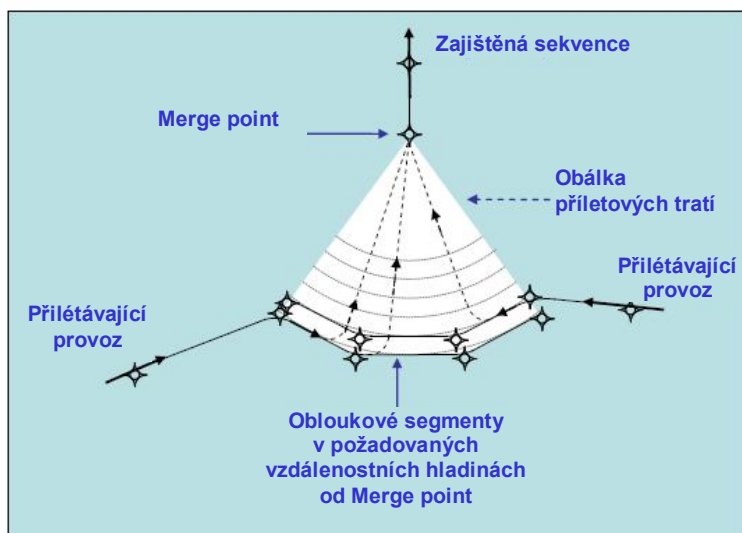


Obr. 1.5 Metoda Path Stretching ^[3]

Pro upravení rozstupů mezi letadly tato metoda využívá vektorování letadel přes předem definované traťové body, které jsou řádně publikovány a jsou známy řídicím letového provozu, pilotům a databázím FMS. Tato metoda je určena ke zvýšení podélných rozstupů mezi letadly před zahájením CDA. Může v sobě také zahrnovat i řízení rychlosti letadla. Při využití této metody je palubní počítač letadla FMS schopný neustále přepočítávat a upravovat profil tratě, protože přesná vzdálenost od prahu dráhy je známa po celou dobu přibližovací fáze. ^[3]

- Merge Point

Tato technika pro vytvoření sekvence letadel na přistání je součástí tratí R – NAV, které zahrnují obloukové segmenty (vzdálenost k Merge Point je po celé délce oblouku stejná). Po tomto oblouku letadla letí v dané letové hladině. Letadlo kopíruje oblouk, dokud není mezi ním a předchozím letadlem, které již pokračuje k Merge Point (bod sloučení), dostatečný podélný rozstup, viz obr. 1.6. Poté řídicí letového provozu vydá letové povolení pro pokračování přímo k Merge Point s vědomím, že mezi letadly je požadovaný podélný rozstup. V této části trati (od obloukového segmentu až po Merge Point) je letadlo povinno klesat do letové hladiny, která je určena pro přelet Merge Point, s využitím možným využitím postupu CDA. Požadovaná letová hladina by měla být dosažena před samotným Merge Point, pokud hustota provozu nedovoluje její dosažení až přímo na Merge Point. V tomto případě by v trajektorii letu nebyla zahrnuta horizontální fáze letu před dosažením Merge Point, což vede k dalšímu zefektivnění celého postupu. ^[3]



Obr. 1.6 Merge Point ^[3]

1.5 Návrh koridoru pro CDA

Pro naplánování koridoru pro CDA, je vhodné, nejdříve zvolit vhodný půdorys příletové tratě a teprve poté určit vertikálními hranicemi koridoru. Na půdorys tratě má vliv mnoho faktorů: ostatní letové tratě, překážky v letovém provozu (zakázané prostory, TRA, TSA,...), rozdělení vzdušného prostoru, dohody letiště s ostatními uživateli vzdušného prostoru a terénní překážky. Snahou by mělo být naplánovat půdorys tratě co nejkratší, ale takovým způsobem, aby trať byla využitelná pro všechny typy letounů využívající dané letiště a umožňovala plynulé odlety z něj. Ukázka výpočtu vertikálních hranic koridoru pro CDA je uvedena v následující podkapitole. Postup výpočtu bude využit pro stanovení vertikálních hranic koridoru příletových tratí na LKPR v další kapitole.

1.5.1 Návrh koridoru pro Close Path Design

Na následujícím příkladu budu demonstrovat, jakým způsobem se určují vertikální hranice koridoru pro CDA. Návrh koridoru ovlivňuje celá řada vnějších faktorů, jak je zmíněno dříve. Z tohoto důvodu je nezbytné navržený koridor otestovat v simulačním prostředí, aby bylo zjištěno, zda vyhovuje všem požadavkům a předpisům. Případně odhalit slabá místa a ta se snažit vhodným řešením upravit. Pro názornost výpočtu jsem zvolil parametry LKPR pro RWY24. Veškerá doporučení o maximálních, minimálních úhlech klesání a dalších parametrech jsou převzata z *ICAO Doc 9931*.

Úhel klesání se bude pohybovat v limitních hodnotách od 2° – $3,3^\circ$. Zvolený rozsah úhlu klesání by měl vyhovovat většině typů letadel. Postup CDA bude zahájen ve vzdálenosti 100 NM od THR letiště. Nadmořská výška THR bude 1158 ft AMSL. Příletová trať bude ukončena na fixu počátečního přiblížení (IAF). Poté bude po minutí FAF v předepsané nadmořské výšce plynule navazovat na přístrojové přiblížení k dráze. Pro přístrojové přiblížení je ve většině případů volena sestupová rovina pod úhlem 3° (Instrument Landing System – ILS). Této sestupové rovině odpovídá rychlost klesání 300 ft/NM.

Koridor by měl letounu umožňovat klesat nepřerušovaně až do IAF (v ideálním případě až do FAF). Horní hranice koridoru začíná od THR a stoupá pod úhlem $3,3^\circ$. Sestupová rovina horní hranice koridoru odpovídá zhruba rychlosti klesání 350 ft/NM. Horní

hranice nám udává nejvyšší možnou letovou hladinu/nadmořskou výšku, ve které se letadlo může při CDA pohybovat. Je definována jako *ν* nebo *pod* FL/altitude.

Spodní hranice musí být navržena tak, aby byly vyloučeny střety s pozemními překážkami a byly od nich udrženy předepsané vertikální vzdálenosti. Její počátek je stanoven v IAF a poté plynule stoupá vzhůru pod úhlem 2° – rychlost klesání 220 ft/NM. V výšce 10000 ft AMSL následuje horizontální segment o délce 5 NM, který slouží ke snížení rychlosti při sestupu. Pod FL 100 nesmí být IAS vyšší než 250 kt. Poté hranice opět pokračuje dále pod úhlem 2°. Spodní hranice koridoru je definovaná jako *ν* nebo *nad* FL/altitude.

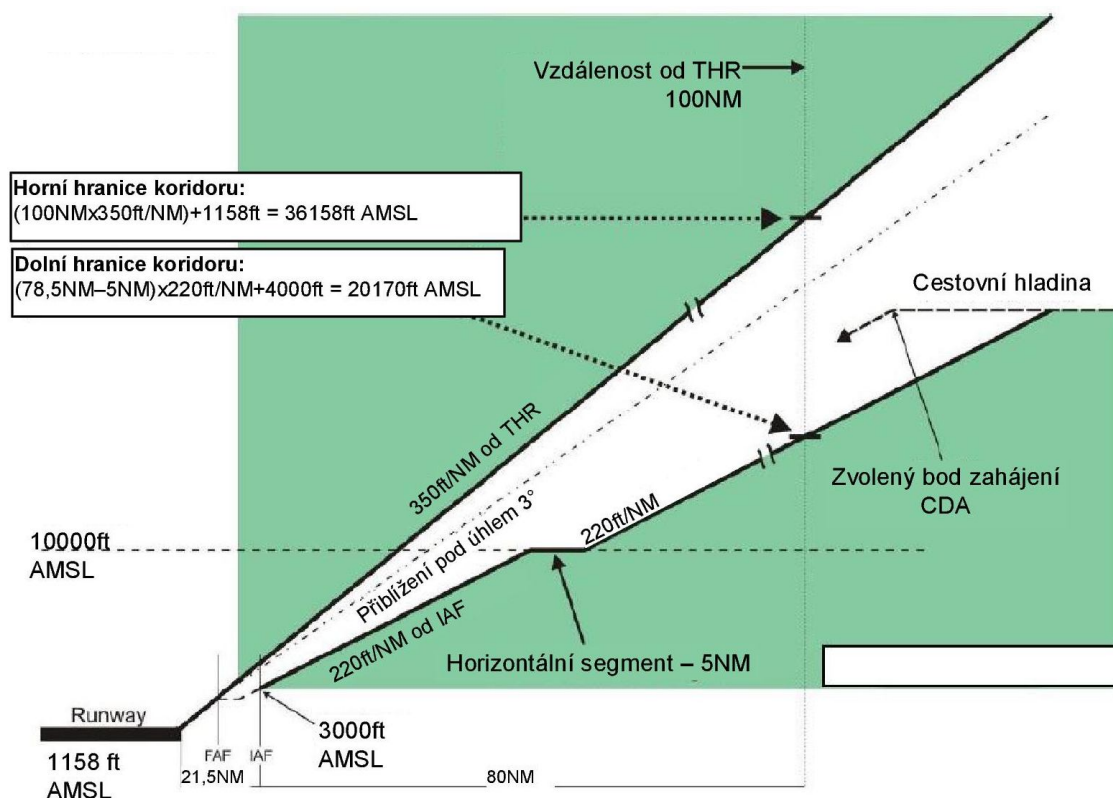
V případě LKPR RWY24 je vzdálenost IAF (ERASU, RATEV) od THR 21,5 NM. Nadmořská výška na IAF by měla být 4000 ft AMSL.

Obecné vztahy pro výpočet maximální a minimální sestupové roviny:

- Maximální úhel sestupu:
 $FL_{max} = (\text{vzdálenost od THR [NM]} \times 350 \text{ ft/NM}) + (\text{nadmořská výška THR})$
- Minimální úhel sestupu:
 $FL_{min} = (\text{vzdálenost od IAF} - 5 \text{ NM}) \times 220 \text{ ft/NM} + (\text{minimální výška na IAF})$

V případě LKPR RWY24 vychází následující výsledky:

- $FL_{max} = (100 \times 350) + 1158 = 36158 \text{ ft AMSL} \approx 36000 \text{ ft AMSL}$
- $FL_{min} = ((100 - 21,5) - 5) \times 220 + 4000 = 20170 \text{ ft AMSL} \approx 21000 \text{ ft AMSL}$



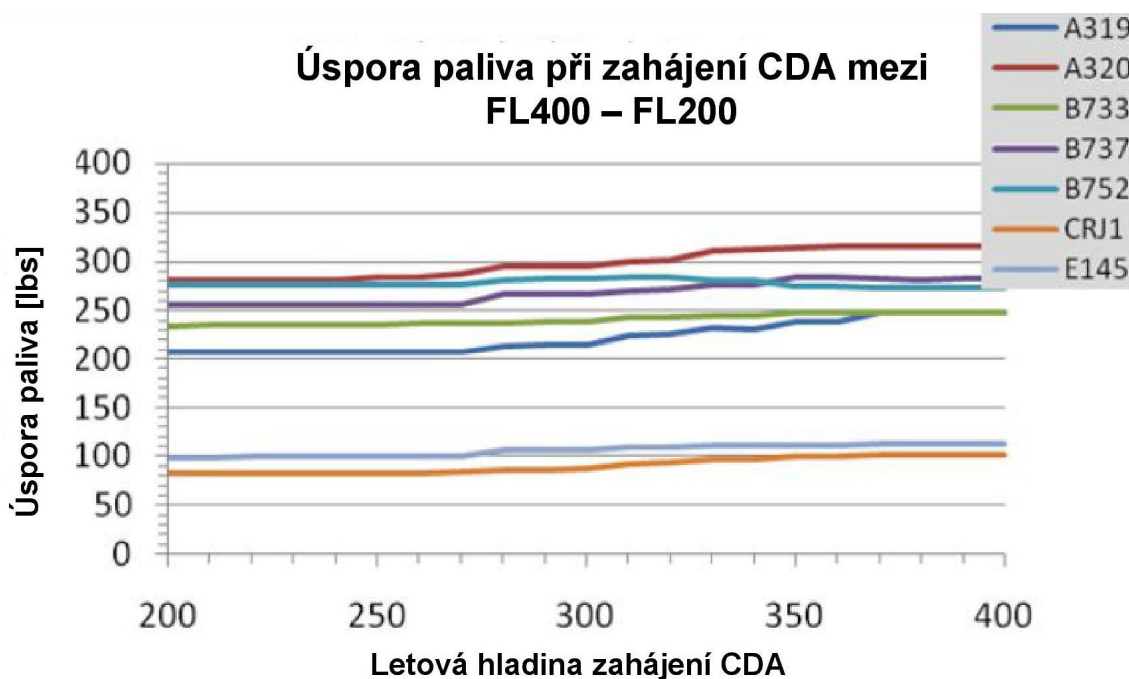
Obr. 1.7 Návrh koridoru CDA

Nadmořské výšky jsou zaokrouhleny na tisíce stop, které odpovídají hodnotám letových hladin. Horní hranice je zaokrouhlena směrem dolů a dolní hranice je zaokrouhlena směrem nahoru, aby se letadlo pohybovalo v mezích vypočteného koridoru. Letadlo ve vzdálenosti 100 NM od THR musí letět v rozmezí FL 210 až FL 360, aby byl schopna udržet se v koridoru po celou dobu přiblížení k letišti. Toto je jen jednoduchá ukázka výpočtu pro představení, kolik prostoru koridor pro CDA zaujímá.

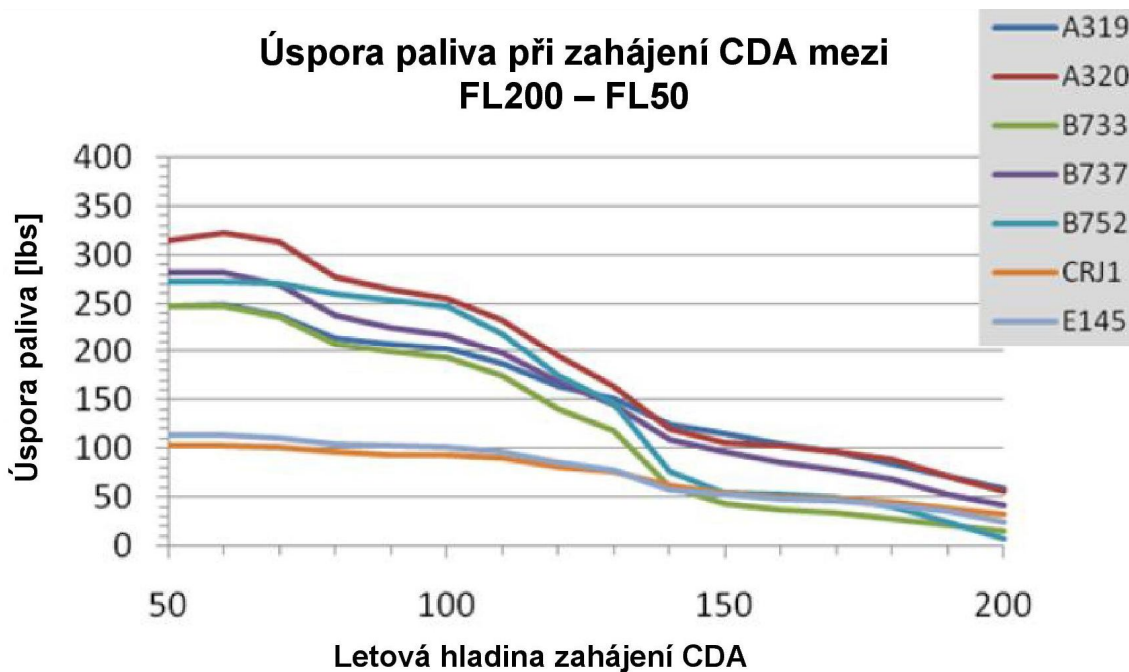
Při samotném tvoření koridoru a jeho schvalování je také nutná blízká koordinace mezi poskytovateli letových provozních služeb, provozovateli letecké techniky a navrhovateli postupu. V neposlední řadě je nový postup zkoušen na simulátoru, který odhalí, zda se jednotlivé typy letounů, které přilétávají na dané letiště, jsou schopny udržet v koridoru či ne. Na samotný postup má vliv spousta faktorů. Pokud jsou tyto faktory uvažovány při návrhu, využívají se tzv. simulace Monte Carlo.

Dle analýzy provedené v USA v roce 2009 vyplývá, že pokud bude CDA zahájeno ne později než v FL 250, je stále možné využít potenciál CDA z 85%. Ale jestliže bude postup CDA ukončen před dosažením FL 150, přibližně 70% potenciální úspory paliva přijde vniveč. Z těchto čísel vyplývá, že největší úspory ve spotřebě paliva jsme schopni dosáhnout v nižších letových hladinách. Nejvýhodnější FL pro zahájení CDA se tedy jeví od FL 200 až FL 150. Snahou by pak mělo být ukončit tento postup až na THR nebo FAF. ^[13]

Na grafech níže můžeme sledovat průběh průměrné spotřeby paliva při zahájení CDA z FL 400 do FL 200 (obr. 1.8) a při zahájení CDA z FL 200 do FL 50 (obr. 1.9) pro nejběžnější typy dopravních letadel. Z grafů jasně vyplývá, že nejvyšší úspory se dosahuje právě v nižších letových hladinách především pod FL 200. Studie byla zaměřena na mezinárodní letiště v Denveru a níže uvedené grafy udávají průměrnou spotřebu během CDA na RWY16L pro STAR DANDD. Pro stanovení úspory paliva byla použita databáze EUROCONTROL Base of Aircraft Data (BADA version 3.6).



Obr. 1.8 Průměrná úspora paliva při zahájení CDA mezi FL 400 – FL 200 ^[13]



Obr. 1.9 Průměrná úspora paliva při zahájení CDA mezi FL 200 – FL 50 ^[13]

1.6 Dílčí závěr

První kapitola byla zaměřena na představení postupu CDA a základní způsoby návrhu příletových tratí k letišti na základě doporučení ICAO. Z definic CDA jasně vyplývají hlavní přínosy, které jsou s tímto postupem spojeny. Mezi hlavní patří snížení spotřeby paliva při přiblížení k letišti a s tím spojené nižší množství vyprodukovaných emisí CO₂ a snížení znečištění okolního prostředí hlukem. Vzhledem k závislosti postupu na mnoha vnějších a provozních faktorech vyplývají z aplikace postupu i významné komplikace, které budou detailně rozepsány v rámci analýzy dopadu CDA na kapacitu vzdušného prostoru v okolí LKPR.

Mezi základní způsoby návrhu příletových tratí patří Close a Open Path Design. V případě aplikace CDA na LKPR bude uvažován návrh tratí dle způsobu Close Path Design. Tzn.: tratě budou přesně definované traťovými body a vzdálenost letadla od THR RWY bude v každém okamžiku přiblížení známa. Dále zde byly představeny různé metody k zajištění podélných rozstupů mezi letadly na přiblížení. Tyto metody budou podrobeny analýze, zda jsou vhodné pro aplikaci na LKPR k zajištění podélných rozstupů a požadované sekvence na přistání či ne. Metoda Merge point se jeví jako velice přínosná pro zavádění CDA na letištích v dnešních provozních podmínkách.

Ukázkový výpočet vertikálních hranic koridoru názorně ukazuje náročnost postupu na velikost vzdušného prostoru v okolí letiště. Postup výpočtu bude také využit pro výpočet příletových koridorů na LKPR. Pro maximalizaci přínosu CDA je záhodné zahájit tento postup ne později než z FL 200, kdy je stále možné využít 85% potenciálu tohoto postupu. Obecně lze shrnout, že postup CDA je efektivnější v nižších FL a nadmořských výškách. Proto je snahou aplikovat tento postup při fázi přiblížení k letišti.

2. Zavádění CDA na evropských letištích

Předmětem této kapitoly je zhodnocení situace na evropských letištích v otázce zavádění CDA. Informace jsou především čerpány z dokumentů publikovaných mezinárodními organizacemi zainteresovanými v procesu zavádění nových technologií a provozních postupů do letového provozu.

2.1 Současné zavádění CDA v Evropě a perspektivy jeho vývoje

Nutnost zabývat se masovým zaváděním CDA na letištích v Evropě pramenila z množících se stížností leteckých společností kvůli rychlému růstu ceny leteckého paliva v období celosvětové ekonomické krize na konci roku 2007 a počátku roku 2008. Během let 2000 až 2008 se cena leteckého paliva vyšplhala téměř na čtyřnásobek ceny v roce 2000.

Na počátku roku 2008 se představitelé leteckých společností obrátili na mezinárodní nevládní organizaci IATA (International Air Transport Association), jež sdružuje letecké dopravce, s požadavkem na rychlý a efektivní zásah proti rychlému růstu ceny leteckého paliva. Organizace IATA očekávala, že růst ceny způsobí leteckým dopravcům ztrátu až 5,2 mld. \$ pro rok 2008. Reakcí na naléhání leteckých společností bylo jednání organizace IATA s dalšími mezinárodními organizacemi zabývajícími se letectvím – EUROCONTROL (European Organization for the Safety of Air Navigation) a CANSO (Civil Air Navigation Services Organization). Výsledkem jednání byla snaha o blízké navázání vztahů se všemi partnery, kteří jsou zapojeni do systému leteckého procesu – letečtí dopravci, provozovatelé letišť, poskytovatelé leteckých navigačních služeb (ANSP – Air Navigation Service Providers). Navázání dialogu mezi všemi partnery mělo vést k nalezení vhodného řešení vzniklé krize a stanovení taktických úkolů, jež by snížily spotřebu paliva (dopad rostoucích cen) v krátkém časovém horizontu. ^[4]

Výsledkem jednání byl dokument *Flight Efficiency Plan: Fuel and emissions savings*. Tento plán byl publikovaný v srpnu 2008. O vydání tohoto dokumentu se zasloužila organizace IATA, CANSO a EUROCONTROL. V tomto dokumentu se poprvé hovoří o širokém zavádění CDA na letištích v Evropě. Úpravy dosavadního systému letového provozu se týkaly nejen zavádění CDA, ale v podstatě všech leteckých operací. Hlavní oblasti plánu jsou následující:

- zlepšení dosavadního rozvržení letových tratí,
- efektivní využívání vzdušného prostoru a dostupnost sítě letových tratí,
- efektivní rozvržení a využívání TMA letišť,
- optimalizace letištních operací,
- zvýšení výkonu výměny informací.

Organizace EUROCONTROL odhadovala, že aplikace plánu ve všech výše uvedených oblastech by mohla vést k úspoře až 470 000 tun paliva, 1 550 000 tun emisí CO₂ ročně. Částka ušetřená za výdaje na palivo by odpovídala zhruba 390 mil. €. Postup CDA měl být zaváděn s využitím stávajících systémů používaných v letectví. Organizace EUROCONTROL testovala tento postup již dříve ve spolupráci s komerčními letadly na evropských letištích a pozitivní vliv CDA na spotřebu paliva, emisí CO₂ a hluku měla již potvrzený. Odhadované roční úspory plynoucí ze zavedení CDA alespoň na 20% evropských letištích byly vyčísleny na 120 000 tun paliva, 400 000 tun CO₂ a 100 mil. €. Jako jeden z cílů

dokumentu bylo zavedení CDA na 20 letištích ročně. Zavádění mělo probíhat v souladu v té době se vznikajícím dokumentem *European Joint Industry – CDA Action Plan*.^[4]

CDA Action Plan byl vydán v březnu 2009. Na jeho vzniku se podílely organizace ACI Europe (Airports Council International Europe), CANSO, EUROCONTROL, IATA, letecké společnosti a také poskytovatelé leteckých provozních služeb včetně Řízení letového provozu České republiky (ŘLP ČR, s.p.). Plán stanovil úkoly a kroky, které měly být evropským leteckým průmyslem dodrženy, aby bylo dosaženo stanovených cílů. Do konce roku 2013 mělo být CDA zavedeno na 100 evropských letištích (členy ECAC – European Civil Aviation Conference) a na 50 letištích, jež nejsou členy ECAC. Dále bylo stanoveno testování postupu na nejméně 20 evropských letištích ročně. Při dodržení celého plánu bylo odhadováno snížení spotřeby paliva o 150 000 tun, emisí CO₂ 500 000 tun a finančních nákladů o 100 mil. € ročně. Hladina hluku na zemi při přiletu k letišti měla být snížena o 1 až 5 dB.^[5]

V roce 2011 organizace EUROCONTROL publikovala *Continuous Descent: A guide to implementing Continuous Descent*. Jedná se o „návod“ zdůrazňující oblasti, kterým musí být věnována pozornost při přípravě prostředí pro zavedení CDA, proces testování a následné implementace. Pořadí jednotlivých úkolů pro zavádění postupu CDA na letiště je uveden v příloze č. 1.

V „návodu“ jsou vyzdvíženy následující oblasti:

- rozvržení vzdušného prostoru,
- letecká informační příručka (AIP),
- plánování a koordinace letového provozu,
- taktické řízení letového provozu,
- posádka letadla.^[6]

Pro podporu bezpečnosti publikovala organizace EUROCONTROL dokument *Guidance for safety assessment of Continuous Descent Operations (CDO) implementation at aerodromes in the ECAC area*. Manuál je zaměřený na oblast bezpečnosti v letovém provozu při plánování a implementaci CDA na letištích.^[6]

European Network Operations Plan 2013 – 2015 byl publikován opět organizací EUROCONTROL v červnu roku 2013. Dokument se zabývá všemi operacemi, které se týkají letového provozu. Jedna z kapitol se týká zavádění CDA na evropských letištích. Publikace zmiňuje problémy s implementací CDA na letištích. Komplikace pramení z různorodosti prostředí jednotlivých letišť, které znemožňují unifikovat systém zavádění na jednotlivá letiště. Dále se předpokládá, že počet omezení spojených se CDA bude i nadále narůstat. Tento trend může mít negativní dopad na další projekty, které s aplikací CDA počítají a jsou jejich součástí (Single European Sky – SES). Ke snížení počtu problémů se zaváděním CDA by mělo vést nové rozvržení vzdušných prostorů (především koncových řízených oblastí – TMA) a využití nových technologií a nástrojů pro řízení letového provozu. Všechny výše zmíněné oblasti by měly pomoci k udržení předepsaných podélných a příčných rozstupů v letovém provozu a také k větší časoprostorové předvídatelnosti. Stanoveným cílem týkajícím se CDA je zavedení tohoto postupu na nejméně 200 evropských letištích do konce roku 2014. V příloze č. 2 je uvedená tabulka s plány pro některá více i méně vytížená evropská letiště týkající se zavádění CDA. Jedná se o nejnovější dokument, který hodnotí situaci zavádění CDA na evropských letištích a stanovuje nejbližší cíle a úkoly týkající se úprav v letovém provozu.^[10]

Na třetím workshopu zaměřeném na operace CDA, který se konal 18. – 19. března 2013 v Bruselu, byly prezentovány výsledky z různých oblastí týkající se zavádění CDA na letištích. Z výsledků průzkumu provedeného organizací EUROCONTROL, do kterého bylo zapojeno 18 leteckých společností, vyplývá, že 67% z oslovených aerolinií má koncept

CDA zahrnutý v rámci politiky společnosti (technika letu při konfiguraci malého odporu a sníženého výkonu motorů), 47% má na postup CDA vydané provozní a operační postupy (ekonomická rychlost, vertikální vedení po sestupové trati) a pouze 39% z nich má ve svých postupech zahrnutý výcvik posádky (FMS výcvik, výcvik pro rozšíření povědomí o hospodaření s palivem). Na workshopu byla také prezentována přesná čísla týkající se počtu letišť, která nabízejí postup CDA. Situace na evropských letištích k březnu 2013:

- 117 letišť nabízí non-stop nebo jen v určitých hodinách,
- 27 letišť je zavázaných k implementaci CDA,
- 5 letišť testovalo postup CDA,
- 21 letišť uvažuje o zapojení do programu na rozšíření CDA. [25]

2.2 Jednotné evropské nebe

Single European Sky (SES) – jednotné evropské nebe je stěžejní projekt usilující o vytvoření jednotného vzdušného prostoru nad Evropou. Jeho hlavním cílem je až ztrojnásobit kapacitu evropského vzdušného prostoru a snížit náklady letecké dopravy. Kapacita evropského vzdušného prostoru je pro dnešní hustotu letového provozu sice dostačující, ale roční nárůst letecké dopravy činí přibližně 5%. Jestliže tempo růstu bude lineárně pokračovat, kapacita nebude pro takový objem provozu stačit, z čehož budou pramenit velká zpoždění, rušení letů, nárůst nákladů na přepravu a absolutní neefektivnost toku letového provozu. Z tohoto důvodu vznikla myšlenka jednotného evropského nebe. Nyní se vychází z konceptu řízení provozu nastaveného v 50. letech minulého století. Na konci 90. let minulého století byly představeny první návrhy, jež by vedly k jednotnému nebi. V současné době je evropský vzdušný prostor rozdroben na několik stovek en-route sektorů (hranice mezi nimi většinou kopírují státní hranice a pak jsou ještě dále děleny v rámci státu). Proto je jedním ze základních úkolů vytvoření tzv. funkčních bloků viz příloha č. 3. Zavedení evropského nebe by mělo přinést:

- desetinásobné zvýšení bezpečnosti,
- ztrojnásobení kapacity vzdušného prostoru,
- snížení nákladů na uspořádání letového provozu o 50%,
- snížení dopadů na životní prostředí o 10%. [24]

První návrh SES byl přijat Evropskou komisí v říjnu 2001. O tři roky později byl 10. března 2004 schválen první legislativní balíček SES I týkající se SES. Balíček byl schválen Evropským parlamentem a Radou EU. Balíček se skládal z následujících nařízení:

- nařízení (ES) č. 549/2004 – stanovení rámce pro vytvoření jednotného evropského nebe (rámcové nařízení),
- nařízení (ES) č. 550/2004 – o poskytování letových navigačních služeb v jednotném evropském nebi (nařízení o poskytování služeb),
- nařízení (ES) č. 551/2004 – o organizaci a užívání vzdušného prostoru v jednotném evropském nebi (nařízení o vzdušném prostoru),
- nařízení (ES) č. 552/2004 – o interoperabilitě evropské sítě řízení letového provozu (nařízení o interoperabilitě).

Výše uvedená nařízení byla v roce 2009 revidována a rozšířena nařízením (ES) č. 1070/2009 s cílem zvýšit výkonnost a udržitelnost evropského leteckého systému. [8]

Projekt Single European Sky ATM Research (SESAR) je technologickou součástí jednotného evropského nebe. Jeho hlavním cílem je zajistit výkonnou infrastrukturu pro řízení

letového provozu, která umožní bezpečný efektivní vývoj letecké dopravy, podpoří její šetrnost k životnímu prostředí a bude schopna plně využívat nové technologie. Dále potom integrovat a koordinovat činnosti ve výzkumu a vývoji. SESAR se skládá ze tří fází:

- Definiční fáze (2005 – 2008) – cílem bylo definovat různé technologické kroky, priority v programech modernizace a plány pro zavádění do provozu. Výsledkem byl evropský hlavní plán uspořádání letového provozu.
- Vývojová fáze (2008 – 2013) – během této fáze měla vzniknout nová zařízení, systémy a normy, které zajistí sblížení vedoucí k plnému interoperabilnímu systému uspořádání letového provozu v Evropě.
- Zaváděcí fáze (2014 – 2020) – tato fáze bude spočívat v rozsáhlém vytváření a zavádění nové infrastruktury uspořádání letového provozu. Infrastruktura by se měla skládat z plně harmonizovaných a interoperabilních složek zaručujících vysoce výkonnou leteckou dopravu v Evropě.^[8]

Z důvodu řízení činnosti projektu SESAR byl vytvořen společný podnik – SESAR Joint Undertaking (SJU), jehož vznik byl deklarován nařízením (ES) č. 219/2007 ze dne 27. února 2007 o založení společného podniku na vytvoření evropského systému nové generace pro uspořádání letového provozu. Hlavní úkoly SJU jsou zajistit modernizaci systému uspořádání letového provozu v Evropě, organizovat a koordinovat činnosti vývojové fáze SESAR, zajistit nezbytné finanční prostředky, organizovat technickou výzkumnou a vývojovou činnost, ověřování a studie.

Výsledkem definiční fáze byl evropský hlavní plán uspořádání letového provozu. 30. března 2009 Evropská rada přijala rozhodnutí o podpoře *European Air Traffic Management Master Plan: SESAR Master Plan*. Druhé přepracované vydání bylo publikováno v říjnu 2012 pod názvem *European Air Traffic Management Master Plan: The Roadmap for Sustainable Air Traffic Management*. V hlavním plánu se počítá se zaváděním CDA s využitím stávajících prostředků (bez nutnosti velkých investic). Hlavní úkol CDA v tomto plánu spočívá ve vytvoření vhodných podmínek a prostředí (rozvržení TMA, návrh příletových tratí, návrh provozních postupů) pro technologie, které jsou nyní ve vývoji. Zavedení nových technologií do provozu by se tak stalo méně časově náročné. Byly by využity postupy, které byly navrženy pro nynější technologie a pouze malými úpravami by mohly být využity novými.

2.3 Dílčí závěr

Řízená snaha o široké zavádění postupu CDA na evropských letištích je od roku 2008 jako reakce na ekonomickou krizi a neustále rostoucí ceny leteckého paliva. Ve zmíněných dokumentech byly vytyčeny cíle pro rok 2013 a 2014. *European Joint Industry – CDA Action Plan* stanovil zavedení CDA na 100 letištích ECAC a 50 jiných letištích do konce roku 2013. Dle statistik prezentovaných během třetího evropského CDO workshopu, jenž se konal v březnu 2013, byl postup CDA nabízen na 117 evropských letištích a 27 letišť se k zavedení postupu zavázalo.^[25] Dle mého názoru byl stanovený cíl téměř splněn. Na mnoha letištích je CDA poskytováno jen v omezené míře (určitá část příletové tratě, noční hodiny). Další úkoly byly vytyčeny *European Network Operations Plan 2013 – 2015*, který si stanovil za cíl zavedení postupu CDA na 200 letištích do konce roku 2014. Jestli se tento cíl podaří splnit, bude pravděpodobně prezentováno na dalším evropském CDO workshopu. Je ale jasné, že na zavádění CDA na evropských letištích se usilovně pracuje, ale mnohdy vyplavou na povrch problémy, jež zavedení CDA oddalují nebo v nejhorším případě neumožní. Jedná se především o problémy s udržení rychlého toku letového provozu na velmi vytížených

letišťích. Při využití „jen“ stávajících technologií je pro řídicí letového provozu velice náročné vyhnout se konfliktním situacím za udržení vysoké propustnosti vzdušného prostoru.

K usnadnění situace jsou pro řídicí letového provozu vyvíjeny nové nástroje, které by jim měly v budoucnosti pomoci při řízení takového provozu. Dále je také nutné zabývat se novým rozdělením vzdušného prostoru, především TMA, pro nové příletové tratě k letišťím. Všechny tyto úpravy vzdušných prostorů, provozních postupů připravují půdu pro implementaci nových projektů a technologií (projekt SES). V tomto projektu se samozřejmě uvažuje s využíváním CDA při příletech k letišti. O pozitivních dopadech CDA na efektivitu ekonomičnost letového provozu není pochyb. Nový systém řízení toku letového provozu nad evropským kontinentem (SES) by měl snížit náklady na leteckou dopravu až o 50%, až ztrojnásobit kapacitu vzdušného prostoru, desetkrát zvýšit bezpečnost letového provozu a o 10% snížit negativní dopad letecké dopravy na životní prostředí.

Jak už to ale bohužel s vývojem a zaváděním nových věcí bývá, celý projekt SES nabírá zpoždění. Dle slov místopředsedy Evropské komise Siima Kallase z roku 2012 (hodnocení SES po 10 letech) je naplňování ambicí projektu velmi opožděno. Nejsou vyřešeny klíčové problémy: stále je potřeba se vypořádávat s nízkou kapacitou, která má vliv na bezpečnost letového provozu, a to za příliš vysoké ceny. Jedním z obrovských problémů je dle jeho slov velká míra fragmentace evropského vzdušného prostoru obvykle dle státních hranic.^[20]

Dle mého názoru CDA je a bude součástí příletových tratí k letišťím. Ale o tom na kolika evropských letišťích a v jakém rozsahu bude CDA nabízeno, se bude odvíjet od zavádění nových systémů a technologií do leteckého provozu a realizace navrhovaných změn struktury vzdušného provozu. Mezi perspektivní koncepty, které by rozsáhlou implementací CDA umožňoval, se řadí například koncept 4D trajektorie a to díky přednostem, které budou představeny v 5. kapitole.

3. Vliv Continuous Descent Approach na kapacitu vzdušného prostoru letiště Praha – Ruzyně

V této kapitole se zaměřím na podrobnou analýzu aplikace postupu CDA na LKPR pro hlavní přistávací a vzletovou dráhu 06/24. Jako podklad k analýze jsou využity příletové tratě, které byly přímo navrženy pro testování CDA na LKPR pro RWY24 v roce 2011 a které byly publikovány cestou AIP SUP 5/11 (příloha č. 7). Podobným způsobem jsou navrženy příletové tratě pro RWY06. Tzn.: tratě jsou vedeny přímo ze vstupního bodu příletové tratě na IAF, aby byly co nejkratší, dle doporučení v *ICAO Doc 9931*.

První část kapitoly je věnována obecným informacím a představení používaných postupů na LKPR. Další podkapitoly jsou zaměřeny na vyhodnocení dopadu aplikace CDA s využitím navržených tratí. Navržené tratě jsou nejdříve porovnány s klasickými tratěmi standardního přístrojového přiletu a jsou vypočítány vertikální hranice příletového koridoru. Na základě vertikálního a horizontálního profilu tratí jsou identifikována kritická místa. Pro přehlednost analýzy jsem stanovil následující oblasti možného vzniku konfliktů a komplikací:

- konflikt mezi přilétávajícím provozem a provozem na odletu,
- konflikt na přiblížení k letišti,
 - mezi letadly na různých příletových tratích (slet na jednom bodě – IAF, IF),
 - zajištění požadované sekvence na přistání,
 - mezi letadly na stejné příletové trati letících dle různých technik klesání k letišti.

3.1 Letiště Praha – Ruzyně

Mezinárodní letiště Praha – Ruzyně je největším a zároveň nejvytíženějším veřejným letištěm v České republice. Jeho provoz byl zahájen 5. dubna roku 1937. Letiště se nachází 17 km severozápadně od hlavního města Prahy. Dne 5. října 2012 bylo letiště přejmenováno na Letiště Václava Havla Praha po významném českém státníkovi Václavu Havlovi. V letectví se pro označení tohoto letiště používá kód ICAO (LKPR) a kód IATA (PRG). Letiště LKPR je určeno pro pravidelný i nepravidelný, mezinárodní i vnitrostátní provoz. Dle posledních statistik uvedených na oficiálních internetových stránkách letiště bylo během roku 2012 odbaveno celkem 10 807 890 cestujících, zaznamenáno 131 564 pohybů letadel a odbaveno 52 977 518 tun nákladu. Letiště nabízí spojení do zhruba 110 destinací ve 42 zemích světa. ^[22]

Provoz na letišti a v jeho okolí je tvořen různými typy proudových a turbovrtulových letadel odlišných váhových kategorií. Je určeno jak pro lety, které dodržují pravidla pro let podle přístrojů (IFR), tak i pro lety, které letí v souladu s pravidly za viditelnosti (VFR).

3.1.1 Dráhový systém letiště LKPR

Dráhový systém letiště je tvořen třemi přistávacími a vzletovými drahami, z nichž dvě jsou určeny pro vzlety a přistání. Letištní mapa je uvedena v příloze č. 4.

- RWY06/24
Vzletová a přistávací dráha 06/24 je hlavní dráhou letiště, která může být používána bez omezení. Pokud je možné využít oba směry, směr dráhy 24 je preferovaný.

- RWY12/30
Pro tuto dráhu jsou stanovena provozní omezení pro využívání v nočních hodinách od 21:00 (20:00) UTC do 05:00 (04:00) UTC. Přesná pravidla využívání dráhy jsou uvedena v Letecké informační příručce ČR (AIP ČR).
- RWY04/22
Tato dráha je pro vzlety a přistání uzavřena. Je využívána jen pro pojiždění, parkování a odbavení letadel.^[18]

RWY06/24 je využívána v podstatě nepřetržitě mimo dobu plánované údržby. Díky tomu, že se dráhový systém od 60. let téměř nezměnil a objem přepravených cestujících a letového provozu neustále narůstá, RWY06/24 se ve špičkových hodinách dostává na maxima své kapacity vzletů a přistání. S myšlenkou postavit paralelní dráhu se počítalo již při samotné stavbě nynější dráhy. V 70. letech byla paralelní dráha zapracována do územně plánovací dokumentace, ale až v roce 2011 získal provozovatel letiště kladný posudek od Ministerstva životního prostředí ČR ke studii dopadu na životní prostředí EIA. Dle aktuálního harmonogramu letiště, se počítá se zavedením nové paralelní dráhy v letech 2018 a 2019.^[22]

Pro RWY06 je k dispozici systém pro přesné přiblížení a přistání (ILS) CAT I a pro RWY24 ILS CAT II/ III. Letiště LKPR je využitelné běžnými typy letadel do velikosti Boeing 747 – 400 (rozpětí 65 m, délka trupu 71 m). Pro letadla typu Airbus 380, Airbus 340 – 600, Boeing 777 – 300/777 – 300 ER, Boeing 747 – 8, Antonov 124 a Lockheed C5 A/B může být také využito za dodržení stanovených postupů v AIP. V tabulce jsou uvedené vyhlášené délky pro RWY06/24.^[18]

Označení RWY	TORA [m]	TODA [m]	ASDA [m]	LDA [m]
06	3715	4015	3715	3715
24	3715	4015	3715	3715

Tab. 3.1 Vyhlášené délky pro RWY06/24^[18]

3.1.2 Vzdušný prostor letových provozních služeb

Vzdušný prostor v okolí letiště je rozdělen na řízený okrsek (CTR) a koncovou řízenou oblast (TMA) viz příloha č. 5. Mezi jednotlivými stanovišti jsou schváleny koordinační dohody, které například řeší, kdy a jak si mají jednotlivá stanoviště mezi sebou předat letadlo.

- Řízený okrsek (CTR)
Vertikální hranice tohoto prostoru je stanovena od země do nadmořské výšky 3500 ft. Zodpovědnost za řízení provozu v tomto prostoru má letištní služba řízení. Vzdušný prostor je klasifikován jako třída D. Z toho vyplývají požadavky na poskytované služby viz příloha č. 6. Řídící letového provozu využívají nástroj pro efektivní spouštění motorů před vzletem letadel (Start – Up Manager), který slouží ke snížení doby vyčkávání se spuštěnými motory a ke zvýšení plynulosti a efektivity provozu na zemi.
- Koncová řízená oblast (TMA)
TMA Praha se skládá z osmi dílčích TMA Praha. Jednotlivá TMA jsou aktivována nebo slučována s ohledem na hustotu letového provozu v okolí letiště. Jejich horizontální hranice jsou znázorněny na mapě v příloze č. 5. Tento vzdušný prostor je klasifikován jako třída C.

- TMA I Praha 2500 ft AMSL – 3500 ft AMSL
- TMA II Praha 3500 ft AMSL – FL 165
- TMA III Praha 4500 ft AMSL – FL 165
- TMA IV Praha FL 65 – FL 165
- TMA V Praha FL 65 – FL 165
- TMA VI Praha FL 75 – FL 165
- TMA VII Praha FL 75 – FL 165
- TMA VIII Praha 2000 ft AMSL – 3500 ft AMSL

Je aktivováno pouze v případě, že CTR Vodochody a TMA II Vodochody není aktivní. ^[18]

Zodpovědnost za letový provoz v TMA Praha má stanoviště přibližovací služby řízení (APP). Úzká koordinace mezi APP a TWR je velice důležitá. Při špičkových provozních hodinách je nutné zajistit efektivní řazení letadel na přistání, aby byly také umožněny odlety z letiště a byly dodrženy stanovené rozstupy mezi letadly. Stanoviště APP také úzce spolupracuje i s ACC. Stanoviště mezi sebou koordinují provoz přilétávající na letiště a odlétávající z letiště. Pro proudová a turbovrtulová letadla je stanoveno rozmezí FL pro vstup a výlet do a z TMA Praha, které je definováno koordinační dohodou mezi stanovišti.

- Řízená oblast (CTA)

Řízená oblast navazuje na TMA Praha. Zodpovědnost za řízení letového provozu má oblastní středisko řízení (ACC). CTA je rozdělena na jednotlivé sektory, které jsou definované jak horizontálními, tak i vertikálními hranicemi. Jsou aktivovány v závislosti na hustotě letového provozu nad územím České republiky. Sekvence letadel na přistání je koordinována již s ACC, z jehož radiové frekvence letadla přechází na APP Praha.

3.1.3 Přílety a odlety na LKPR

Pro přílety a odlety podle pravidel pro let podle přístrojů jsou uplatňovány postupy prostorové navigace (RNAV). Pro příletové a odletové tratě se vyžaduje typ přesné prostorové navigace (P – RNAV). Letadla necertifikovaná pro P – RNAV mohou využívat STAR/SID s certifikací základní prostorové navigace (B - RNAV). Letadla necertifikovaná pro RNAV musí předpokládat možnost zpoždění nebo prodloužení tratě letu v obdobích nahromadění provozu. ^[18]

- B – RNAV – přesnost neboli chyba v určení polohy letadla je stanovena v mezích do 5 NM v 95% případů měření okamžité polohy.
- P – RNAV – přesnost neboli chyba v určení polohy letadla je stanovena v mezích do 1 NM v 95 % případů měření okamžité polohy. ^[19]

Pro přístrojové přílety a odlety jsou využívány tratě pro standardní přístrojový přílet (STAR) a pro standardní přístrojový odlet (SID). Tratě jsou označeny například LOMKI4S ARRIVAL. Název je složen ze čtyř částí. První část je dána názvem tratě (počátečního bodu v případě STAR nebo koncového bodu v případě SID). Číslo v názvu značí změnu, která se týká některého navigačního údaje (magnetický směr – vliv deklinace, minimální letová výška). Písmeno v názvu udává směřování tratě. Poslední část ARRIVAL znamená, že se jedná o přílet (v případě SID by bylo uvedeno DEPARTURE). Tratě jsou vedeny přes traťové body, které jsou označeny dvěma písmeny (dle posledních dvou písmen v ICAO kódu daného letiště) a trojicí čísel sloužících pro jejich přesnou identifikaci. V postupech každé tratě je specifikováno, zda se má daný traťový bod letět kolem (fly – by) nebo přes (fly – over). ^[2]

Přiletové tratě jsou ukončeny na fixu počátečního přiblížení (IAF). Úsek počátečního přiblížení pokračuje do fixu středního přiblížení (IF). Z IF začíná úsek středního přiblížení a pokračuje na fix konečného přiblížení (FAF), z kterého začíná úsek konečného přiblížení. Tratě standardních přístrojových příletů pro RWY06/24 jsou uvedeny v tabulce níže.

RWY06		RWY24	
Označení STAR	IAF	Označení STAR	IAF
GOLOP1T	KUVIX	GOLOP1S	ERASU
GOSEK2T	AKEVA	GOSEK2S	RATEV
LOMKI5T	BAROX	LOMKI4S	ERASU
VLM1T	AKEVA	VLM1S	RATEV

Tab. 3.2 Standardní přístrojové přílety RWY06/24 ^[18]

Tratě standardních přístrojových odletů jsou definovány buď jen pro vrtulová letadla (označené velkým písmenem D pro RWY06 a velkým písmenem M pro RWY24), nebo jsou využívány bez omezení. SID pro RWY24 pro vrtulová letadla mohou být navíc využity jen od 05:00 (04:00) do 21:00 (20:00) UTC. ^[18]

- RNAV SID RWY06:
ARTUP1E, BALTU2D, BALTU2E, DOBEN2D, DOBEN2E, VENOX2D, VENOX2E, VOZ1D a VOZ1E.
- RNAV SID RWY24:
ARTUP1A, ARTUP1M, BALTU2A, DOBEN2A, VENOX1A, VENOX1M, VOZ1A a VOZ1M. ^[18]

3.1.4 Testování continuous descent approach na LKPR

Postup CDA byl na letišti LKPR aktivně testován v roce 2011 v rámci mezinárodního programu Atlantic Interoperability Initiative to Reduce Emissions – AIRE. AIRE je program, jehož cílem je urychlovat zavádění postupů šetrných k životnímu prostředí pro všechny fáze letu a potvrdit jejich pozitivní přínos. Do tohoto programu jsou zapojeny především letecké společnosti, poskytovatelé letových provozních služeb a výrobci letadlových systémů a techniky. Mimo jiné také České aerolinie a Řízení letového provozu České republiky. Hlavní úkoly programu AIRE:

- Společně s ostatními partnery najít a schválit vhodné řešení, které povede ke snížení emisí CO₂ v krátkém časovém horizontu.
- Navrhnout provozní postupy, které budou mít pozitivní dopad na snížení emisí CO₂ a zároveň budou vyhovovat stávajícímu palubnímu vybavení letadel.
- Přínosy jednotlivých řešení demonstrovat na zkušebních letech, které by měly být prováděny v převážně reálném letovém provozu.
- Udržovat neustálý kontakt se širokou veřejností, podávat pravidelné informace o výsledcích jednotlivých projektů a zkušebních letů a o snaze snížit dopad letecké dopravy na životní prostředí. ^[11]

ČSA, a.s. a ŘLP ČR, s.p. se do programu AIRE aktivně zapojily v rámci projektu Reduction of Emissions using CDAs in TMA in Czech Republic (REACT – CR). Cílem tohoto projektu bylo prokázat pozitivní dopad CDA na spotřebu paliva, redukci emisí CO₂ a snížení znečištění hluku ve vzdušném prostoru letiště LKPR. Testování postupů CDA na letišti LKPR probíhalo ve dvou fázích od října 2010 do září 2011. První fáze projektu byla

zaměřena na plánovací proces. Druhá fáze byla zahájena na počátku roku 2011 a byla výhradně zaměřena na testování postupu CDA. První testovací let CDA byl uskutečněn 14. dubna 2011. Jednalo se o let číslo OK 805 z Bukureště do Prahy. Letoun Airbus A319 společně s cestujícími bezpečně přistál v 8:15 místního času. Od té doby bylo na letišti LKPR uskutečněno více než 200 letů využívajících techniku CDA.^[7]

3.1.5 RNAV Validation Tool

RNAV Validation Tool je software, který je využíván k modelování nových nebo upravených RNAV postupů pro SID a STAR. Má své nezastupitelné místo v procesu navrhování nových postupů před jejich samotnou implementací. Software byl vytvořen společností DW International pro mezinárodní organizaci EUROCONTROL. Organizace EUROCONTROL mi na moji žádost tento software poskytla. Rozhodl jsem se tento software předně využít pro vizualizaci standardních příletových a odletových tratí a odhalení konfliktů v letovém provozu. Mezi výhody tohoto programu patří nejen možnost 2D a 3D vizualizace více tratí zároveň, ale také možnost otestovat postupy různými kategoriemi letadel (dle maximální vzletové a přistávací hmotnosti). Společnost DW International na svých internetových stránkách uvádí také rozšířenou verzi tohoto softwaru, který by měl být schopen zobrazit hlukové zatížení okolí a náročnost postupu na spotřebu paliva. Organizace EUROCONTROL tento ale program neposkytuje.

3.2 Analýza tratí standardního přístrojového přiblížení RWY24

Pro analýzu příletových tratí standardního přístrojového přiblížení založené na přesné prostorové navigaci pro RWY24 jsem se rozhodl využít tratě, které byly publikovány cestou AIP SUP 5/11. Tyto tratě byly navrženy pro testování postupů CDA na letišti LKPR v rámci projektu REACT – CR. Doplněk k AIP byl publikován 30. prosince 2010 a v platnost vstoupil 10. února 2011. Celé znění doplňku je uvedené v příloze č. 7. Po ukončení testovacích letů byl doplněk z AIP vyřazen. Vzhledem k velikosti TMA Praha a hustoty provozu v jeho okolí, odpovídají navržené tratě způsobu návrhu Close Path Design.

3.2.1 CDA RNAV STAR RWY24

Horizontální profil tratí

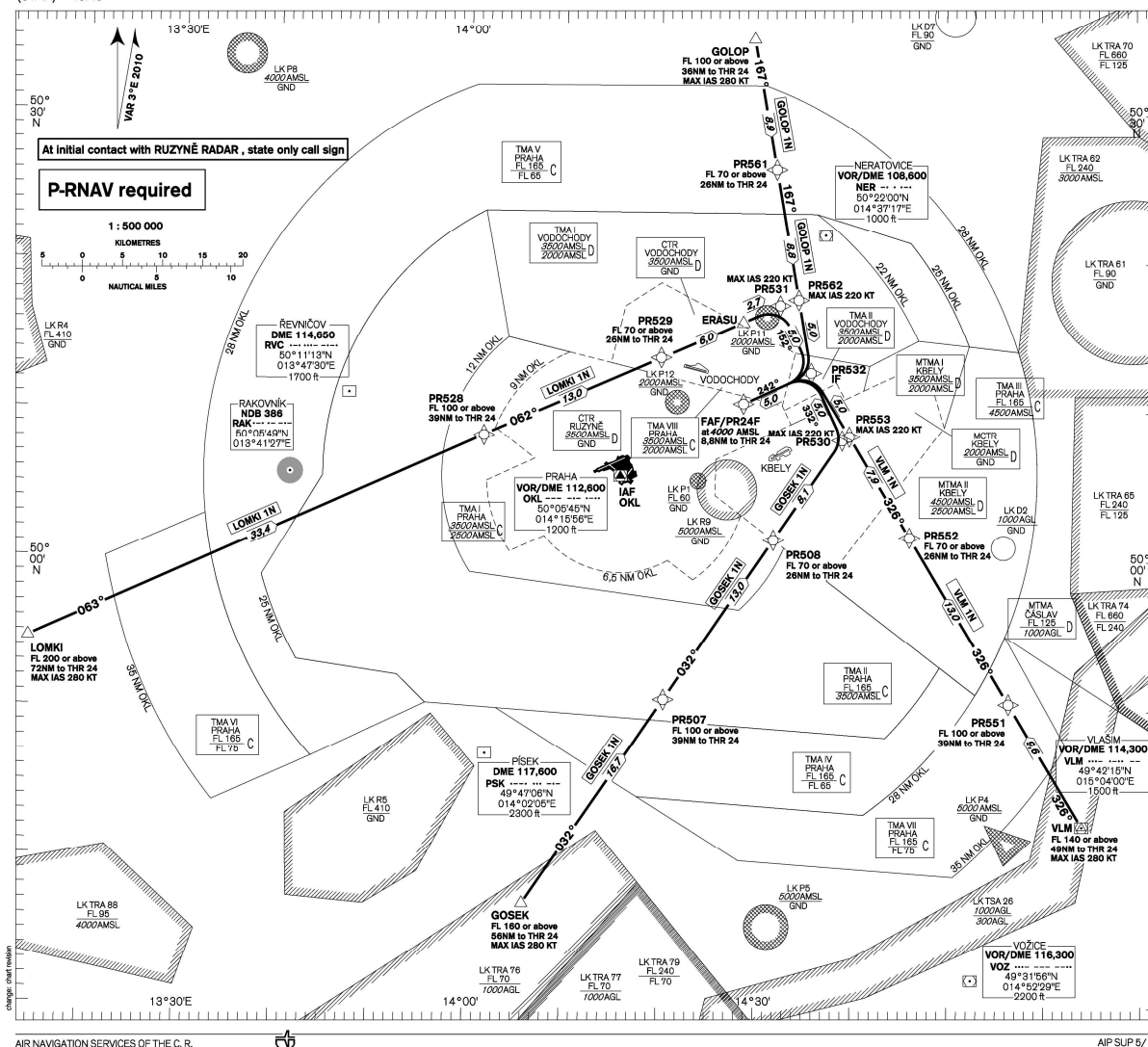
Příletové tratě, které byly využívány pro testovací lety CDA, se od používaných RNAV STAR (viz příloha č. 8) liší vertikálním i horizontálním profilem. Pro názornost je na obr. 3.1 uvedena mapa příletových tratí, která byla vyjmuta z AIP SUP 5/11. CDA RNAV STAR začínají na stejných traťových bodech. Další traťové body byly již navrženy speciálně pro jejich potřebu. Trať jsou od počátečního traťového bodu plánovány bez jakýchkoliv otočných bodů až po IAF. Poté následuje úsek počátečního přiblížení o délce 5 NM, který je ukončen na IF. IF je pro postup CDA a přesné přístrojové přiblížení stejný (PR532). Dále následuje úsek středního přiblížení o délce 5 NM ukončený na FAF. Rozdílnosti v délce příletových tratí jsou uvedeny v tabulce 3.3. Délky tratí jsou počítány od počátečních bodů až po FAF. Od tohoto bodu obě skupiny tratí navazují na ILS RWY24. Příletové tratě jsou sice ukončeny na IAF a vzdálenost od IAF po THR je pro obě skupiny tratí stejná, ale v celkové délce jsou zahrnuty z důvodu počítání vertikálního profilu CDA, který bude

ukončen až na THR. K označení tratí je využita jen první část jejich názvu dle počátečního bodu. V obou případech je vyžadována P – RNAV.

AIP
CZECH REPUBLIC

STANDARD ARRIVAL CHART – INSTRUMENT
(STAR) – ICAO

CDA RNAV STAR - RWY 24 PRAHA / Ruzyně



Obr. 3.1 CDA RNAV STAR RWY24

Označení tratě	CDA RNAV STAR [NM]	RNAV STAR [NM]	Rozdíl [NM]	Rozdíl [%]
GOLOP	36,5	58,1	21,6	37,2
GOSEK	56,6	60,8	4,2	6,9
LOMKI	73,9	75,5	1,6	2,1
VLM	49,3	65,2	15,9	24,4

Tab. 3.3 Porovnání délek příletových tratí

Z tabulky vyplývá, že tratě navržené pro CDA jsou ve všech případech kratší. U tratí LOMKI a GOSEK není rozdíl tak markantní jako u tratí VLM a GOLOP, kde rozdíl činí 37,2% z délky běžně využívané příletové tratě. Pro výpočet délky RNAV STAR bylo předpokládáno vedení tratě po definovaných traťových bodech. Je zřejmé, že pokud to provozní situace dovolí, jsou tyto tratě napříměny a zkráceny, což umožní rychlejší tok

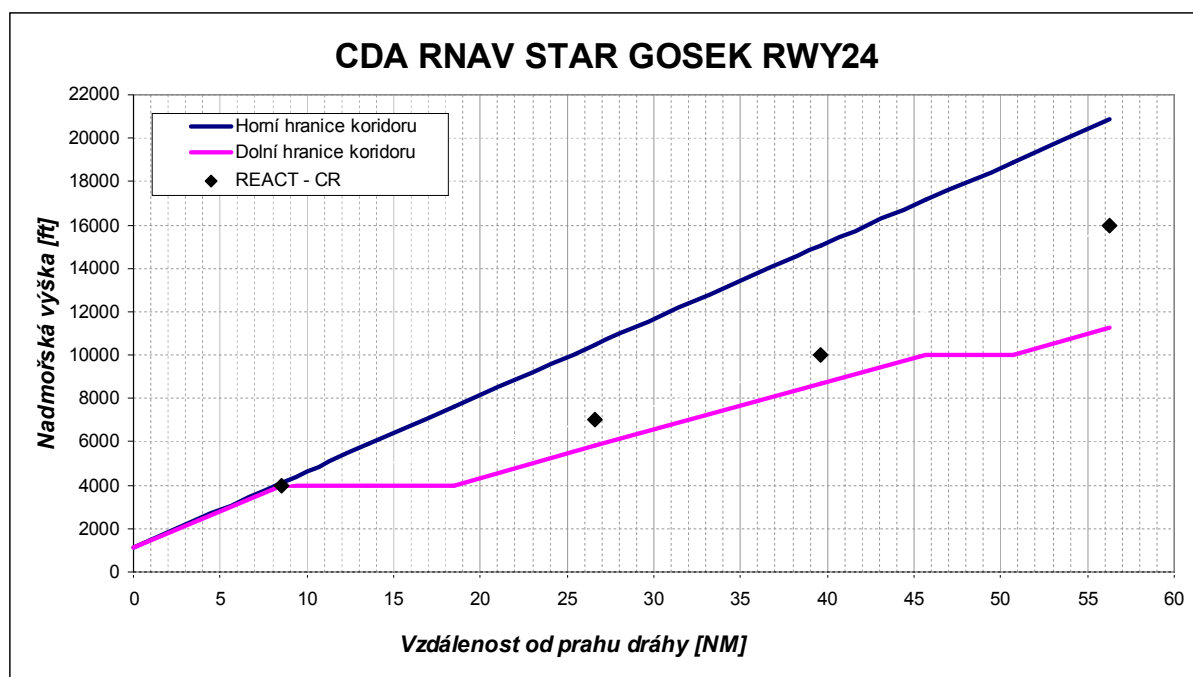
letového provozu v okolí letiště. Z rozdílnosti délek příletových tratí vyplývá kratší doba letu a uvolnění kapacity vzdušného prostoru.

Vertikální profil tratí

Pro výpočet vertikálního profilu příletových tratí jsem využil vztahy uvedené v podkapitole 1.5.1. Horní hranice příletového koridoru plynule stoupá pod úhlem $3,3^\circ$ od prahu dráhy a končí na úrovni vstupního bodu dané příletové tratě. Spodní hranice koridoru plynule stoupá pod úhlem 2° od nadmořské výšky 4000 ft od IAF. Ve vzdálenosti 27,2 NM od IAF je zařazen horizontální segment v nadmořské výšce 10 000 ft, jehož délka je 5 NM. Tento segment slouží ke snížení indikované vzdušné rychlosti (IAS) na hodnotu nižší než 250 kt. Dále hranice stoupá pod úhlem 2° až po vstupní bod dané příletové tratě. IAF není v popisech tratí přesně definován, protože se předpokládala aplikace CDA až do FAF. Nicméně běžné příletové tratě jsou zpravidla ukončeny na IAF, proto jsem jako IAF zvolil body PR562 pro příletovou trať GOLOP, PR530 pro příletovou trať GOSEK, PR531 pro příletovou trať LOMKI a PR553 pro příletovou trať VLM. Délky úseků počátečního přiblížení jsou ve všech případech stejné a to 5 NM. Dle instrukcí pro výpočet spodní hranice koridoru by měla být tato hranice ukončena na IAF v publikované nadmořské výšce. Dle běžných postupů nadmořská výška nad IAF odpovídá hodnotě 4000 ft.

V následujících grafech je zobrazen vertikální profil jednotlivých tratí. Na vodorovné ose je vynesena vzdálenost od prahu dráhy v námořních mílech. Na vertikální ose je zobrazena nadmořská výška ve stopách. Grafy jsou ukončeny ve vzdálenosti daných vstupních bodů od prahu dráhy.

V grafu jsou uvedeny vertikální restriktce, které byly publikovány v rámci postupů pro testování CDA na LKPR. Podrobný popis postupů je součástí přílohy AIP SUP 5/11 (viz příloha č. 7). Vertikální restriktce byly definovány jako minimální FL na daných traťových bodech. Výšková omezení jsou v grafech vertikálních profilů znázorněna černým kosočtvercem. Na všech grafech je patrné, že se definované minimální FL nachází ve vypočítaném koridoru. Lze tedy předpokládat, že příletové tratě pro testování CDA byly navrženy v souladu s doporučeními dokumentu *ICAO Doc 9931*. Pod každým grafem je uvedena tabulka s přesnými hodnotami FL na jednotlivých traťových bodech.

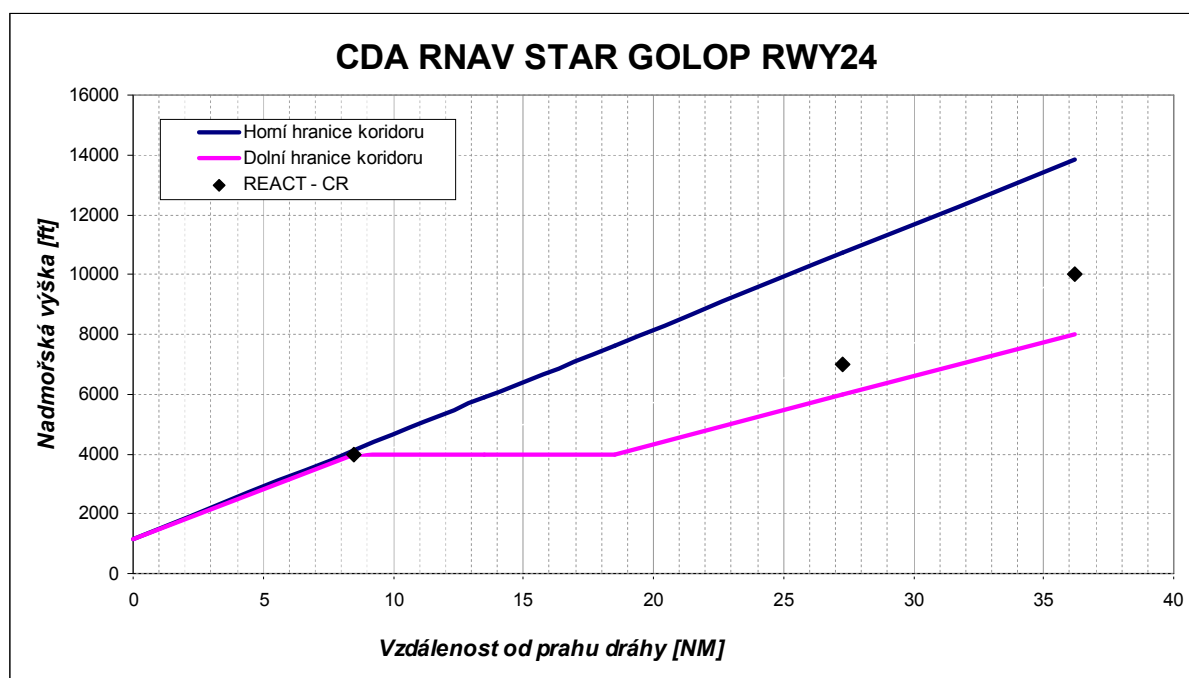


Obr. 3.2 Vertikální profil příletové tratě GOSEK

CDA RNAV STAR GOSEK RWY24							
Traťový bod	THR	FAF	PR532/IF	PR530/IAF	PR508	PR507	GOSEK
Vzdálenost od THR [NM]	0	8,8	13,8	18,8	26,9	39,9	56,6
Horní hranice koridoru [ft]	1158	4238	5988	7738	10573	15123	20968
Dolní hranice koridoru [ft]	1158	4000	4000	4000	5782	8642	11232
REACT – CR [ft]		4000			7000	10000	16000
Horní hranice koridoru [ft]	1158	4200	5900	7500	10000	15000	20000
Dolní hranice koridoru [ft]	1158	4000	4000	4000	6000	9000	12000

Tab. 3.4 Vertikální profil přiletové tratě GOSEK

Po zaokrouhlení hodnot směrem dolů na celé hladiny v případě horní hranice a směrem nahoru v případě dolní hranice (aby se nacházely v koridoru) jsou určeny hodnoty pro „průletová okna“ nad jednotlivými traťovými body. Zaokrouhlené hodnoty vertikálních hranic „průletových oken“ jsou uvedeny v posledních dvou řádcích tabulky. Postup CDA pro přiletovou trať GOSEK může být teoreticky zahájen mezi FL 200 až FL 120. Uvádím „teoreticky“, protože zatím nevím, jestli tento koridor nebude konfliktní například s odletovou tratí.

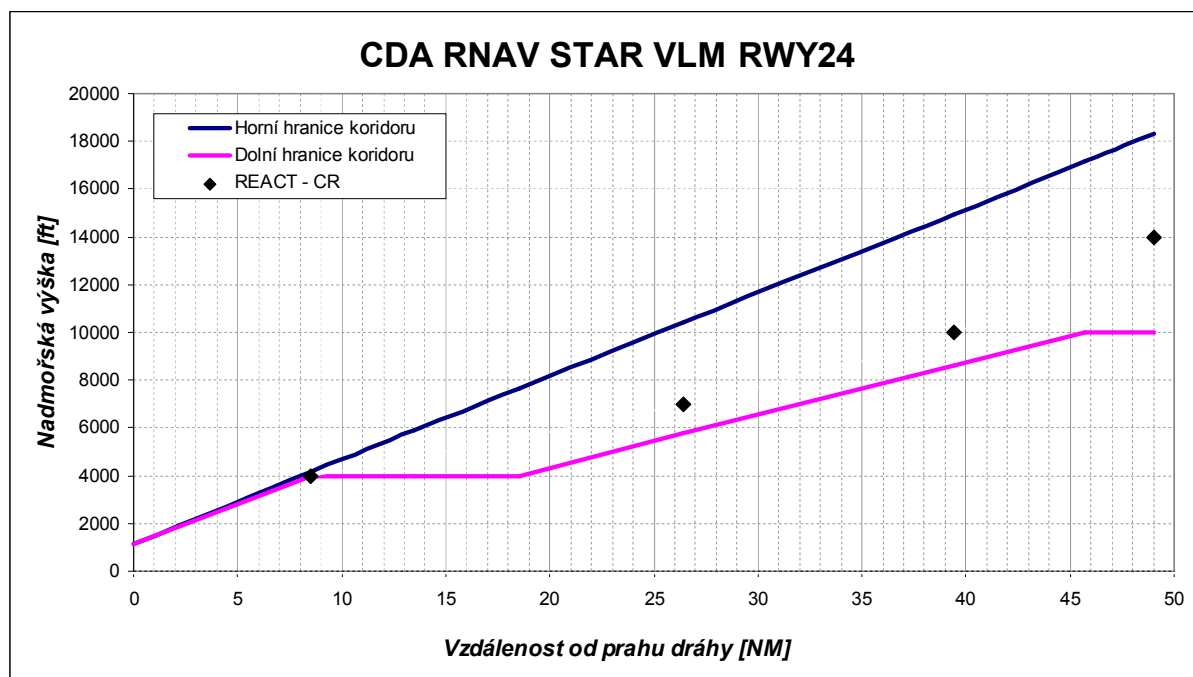


Obr. 3.3 Vertikální profil přiletové tratě GOLOP

CDA RNAV STAR GOLOP RWY24						
Traťový bod	THR	FAF	PR532/IF	PR562/IAF	PR561	GOLOP
Vzdálenost od THR [NM]	0	8,8	13,8	18,8	27,6	36,5
Horní hranice koridoru [ft]	1158	4238	5988	7738	10818	13922
Dolní hranice koridoru [ft]	1158	4000	4000	4000	5936	7894
REACT – CR [ft]		4000			7000	10000
Horní hranice koridoru [ft]	1158	4200	5900	7500	10000	13000
Dolní hranice koridoru [ft]	1158	4000	4000	4000	6000	8000

Tab. 3.5 Vertikální profil přiletové tratě GOLOP

Příletová trať GOLOP může být teoreticky zahájena z FL 130 až FL 80. Výšková omezení pro projekt REACT – CR se nachází ve vypočítaném koridoru.

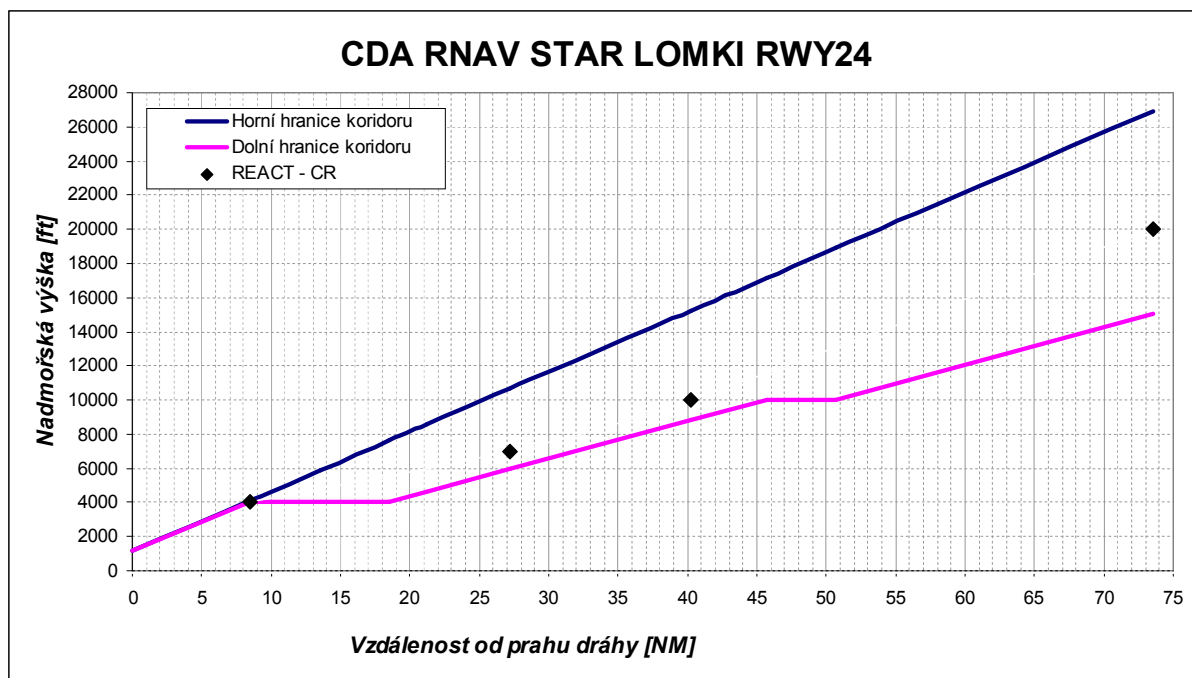


Obr. 3.4 Vertikální profil příletové tratě VLM

CDA RNAV STAR VLM RWY24							
Traťový bod	THR	FAF	PR532/IF	PR553/IAF	PR552	PR551	VLM
Vzdálenost od THR [NM]	0	8,8	13,8	18,8	26,7	39,7	49,3
Horní hranice koridoru [ft]	1158	4238	5988	7738	10503	15053	18413
Dolní hranice koridoru [ft]	1158	4000	4000	4000	5738	8598	10000
REACT – CR [ft]		4000			7000	10000	14000
Horní hranice koridoru [ft]	1158	4200	5900	7500	10000	15000	18000
Dolní hranice koridoru [ft]	1158	4000	4000	4000	6000	9000	10000

Tab. 3.6 Vertikální profil příletové tratě VLM

Postup CDA pro příletovou trať VLM může být teoreticky zahájen z FL 180 až FL 100. Výšková omezení pro projekt REACT – CR se nachází ve vypočítaném koridoru.



Obr. 3.5 Vertikální profil příletové tratě LOMKI

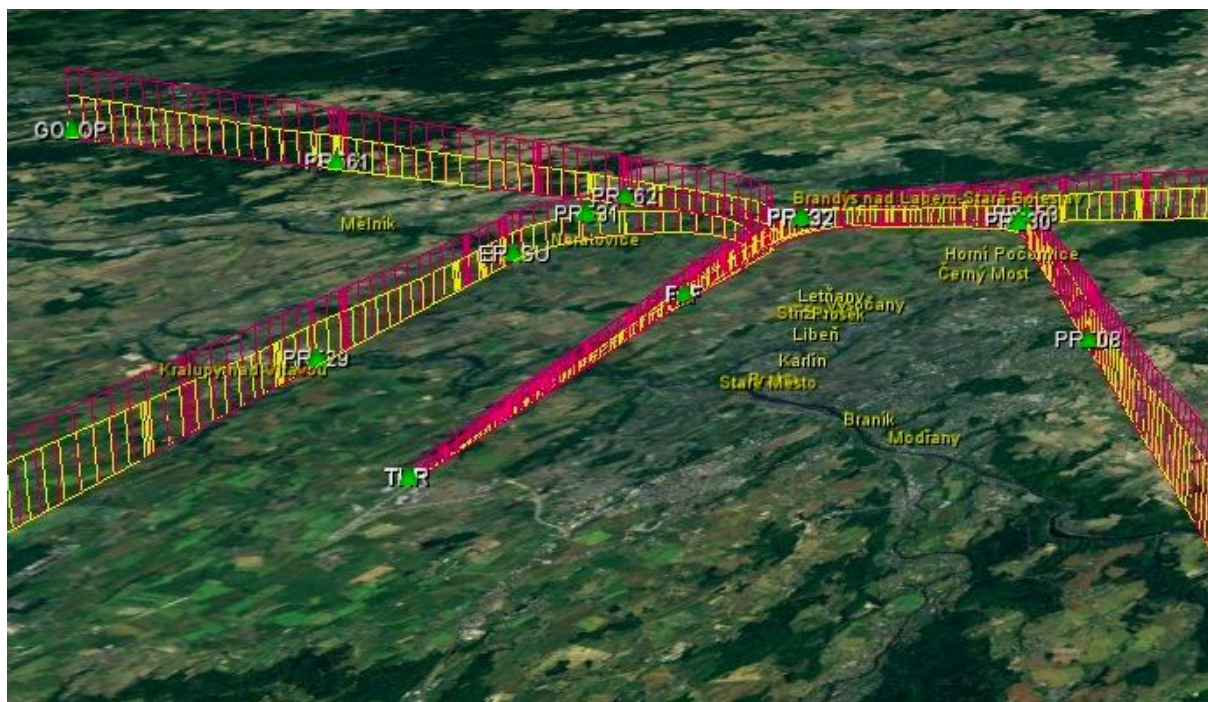
CDA RNAV STAR LOMKI RWY24								
Traťový bod	THR	FAF	PR532/IF	PR531/IAF	ERASU	PR529	PR528	LOMKI
Vzdálenost od THR [NM]	0	8,8	13,8	18,8	21,5	27,5	40,5	73,9
Horní hranice koridoru [ft]	1158	4238	5988	7738	8683	10783	15333	27023
Dolní hranice koridoru [ft]	1158	4000	4000	4000	4594	5914	8774	15038
REACT – CR [ft]		4000				7000	10000	20000
Horní hranice koridoru [ft]	1158	4200	5900	7500	8500	10000	15000	27000
Dolní hranice koridoru [ft]	1158	4000	4000	4000	4700	6000	9000	16000

Tab. 3.7 Vertikální profil příletové tratě LOMKI

Postup CDA může být teoreticky zahájen z letových hladin v rozmezí FL 270 až FL 160. Výšková omezení pro projekt REACT – CR se nachází ve vypočítaném koridoru.

Vertikální rozpětí příletových koridorů je přímo úměrné jejich délce. Využitelnost příletových koridorů v jejich maximálních vertikálních limitech je komplikována nejen odletovými tratěmi, ale také náročnou koordinací příletů s oblastním střediskem řízení. Horní hranice některých příletových tratí (LOMKI, VLM a GOSEK) se nacházejí ve vyšších letových hladinách než je vertikální limit TMA Praha. Počáteční body jednotlivých tratí se sice nacházejí mimo TMA Praha také, ale přílety běžně probíhají v nižších letových hladinách a neovlivňují provoz ve vyšších letových hladinách.

Na obrázku 3.6 je znázorněna vizualizace příletových tratí. Žluté příletové tratě znázorňují spodní hranici koridoru a růžové příletové tratě znázorňují horní hranici koridoru. Vizualizace vertikálních profilů příletových tratí využijí především při znázornění dekonflikce příletových a odletových tratí.



Obr. 3.6 Vizualizace vertikálních profilů příletových tratí pro RWY24

3.2.2 Konflikt s odletovými tratěmi

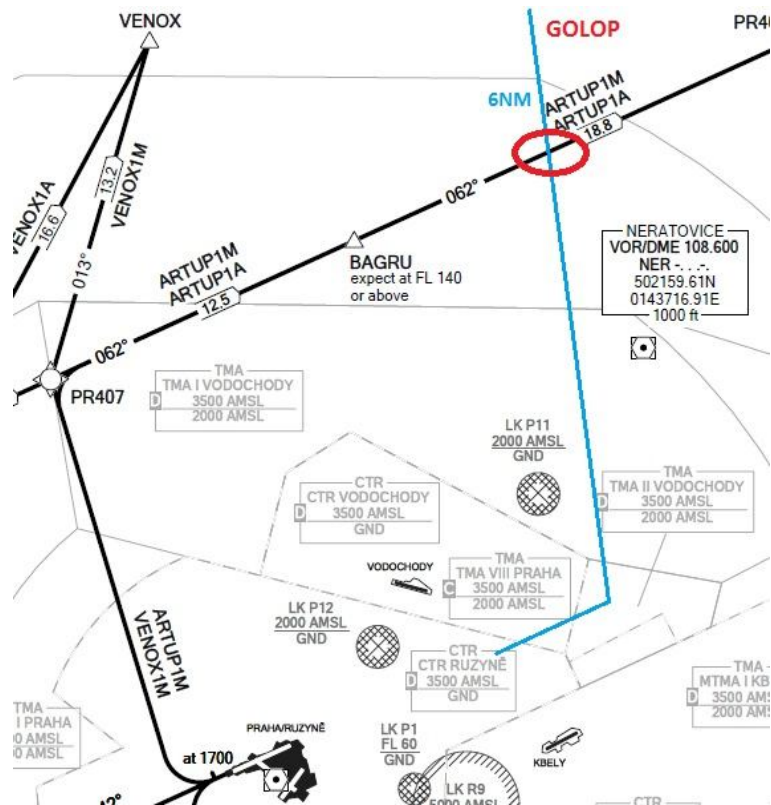
Provoz v okolí letiště je tvořen přílety na letiště a odlety z letiště. Pro odlety z letiště využívající směr dráhy 24 jsou publikovány tratě vyžadující přesnou prostorovou navigaci (P – RNAV). Mapa standardních přístrojových odletů pro RWY24 je uvedena v příloze č. 9. Odlety a přílety na letiště jsou prováděny do všech směrů, proto dochází ve většině případů ke křížení tratí. Pro vykřížení tratí musí být mezi letadly zajištěn požadující vertikální rozstup. Při aplikaci postupu CDA není možné uplatnit vertikální rozstup, protože letadlo klesá podle vypočtené nejvýhodnější trajektorie. Řídicí letového provozu sice může předpokládat, v jaké FL se letadlo na přiblížení bude nacházet, ale při vydání povolení klesat do nadmořské výšky 4000 ft nemůže s letadlem na odletu z letiště podletět takto klesající provoz. Vertikální rozstup se v tomto případě hodnotí jako nezajištěný. Poloha přilétávajícího letadla se v nynějších podmínkách nemůže určit s dostatečnou přesností. Údaj o předpokládané FL na daném bodu nemůže být brát jako relevantní informace pro řízení letového provozu.

Tratě standardních přístrojových odletů jsou označovány stejným způsobem jako standardní přístrojové odlety. SID, které ve svém názvu mají za číslicí velké písmeno M, jsou určeny jen pro vrtulová letadla v době od 05:00 (04:00) UTC do 21:00 (20:00) UTC. V nočních hodinách nejsou tyto tratě využívány. Pro analýzu budu uvažovat denní provoz v okolí letiště, protože dochází k největšímu vytěžení vzdušného prostoru a vliv aplikace CDA na provoz v okolí letiště by měl být největší. ^[18]

- Příletová trať GOLOP

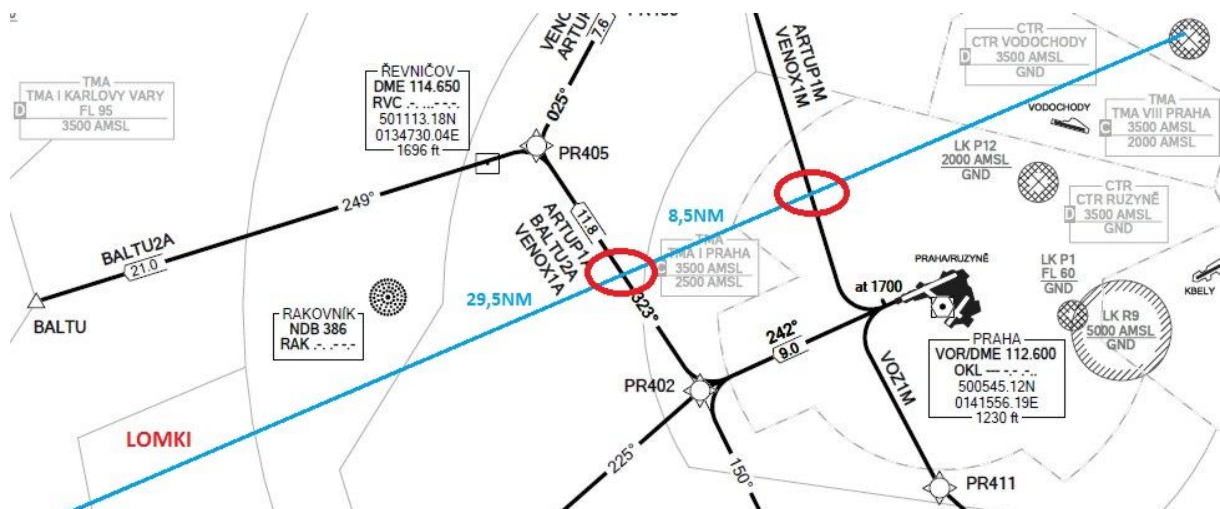
Na obrázku 3.7 je naznačen přibližný průběh příletové tratě GOLOP. Příletová trať GOLOP se protíná s odletovou tratí ARTUP1A a ARTUP1M. Délka letového úseku od počátečního bodu GOLOP do průsečíku tratí je 6 NM. Dle vypočteného koridoru CDA by se mělo letadlo nacházet ve nadmořské výšce 11798 ft (FL 110) až 7696 ft (FL 80). Letadla odlétávající z letiště jsou předpokládána být ve FL 140 nebo vyšší na

traťovém bodu BAGRU. Z toho vyplývá, že příletová trať GOLOP je s odletovými tratěmi ARTUP1A a ARTUP1M nekonfliktní.



Obr. 3.7 Konflikt příletové tratě GOLOP

- Příletová trať LOMKI
Příletová trať LOMKI je konfliktní ve dvou bodech s odletovými tratěmi. První bod se nachází ve vzdálenosti 29,5 NM od traťového bodu LOMKI viz obr. 3.8. V tomto bodě se příletová trať protíná s odletovými tratěmi ARTUP1A, BALTU2A a VENOX1A. Letadlo by se mělo nacházet v nadmořské výšce 16663 ft (FL 160) až 9654 ft (FL 90).

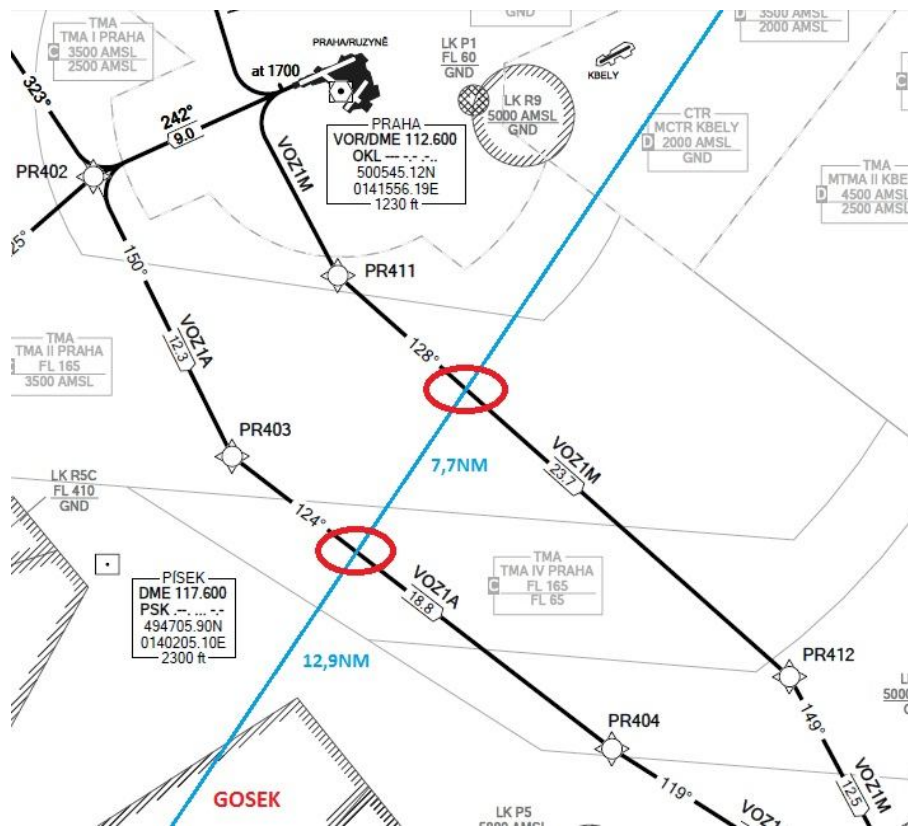


Obr. 3.8 Konflikt příletové tratě LOMKI

V druhém případě se příletová trať LOMKI protíná s odletovými tratěmi ARTUP1M a VENOX1M ve vzdálenosti 38 NM od počátečního bodu tratě. Nad křižováním tratí by se letadlo mělo nacházet v nadmořské výšce 13688 ft (FL 130) až 7784 ft (FL 80). V obou případech dochází ke konfliktu s odletovými tratěmi jak v horizontální, tak i vertikální rovině. Z toho důvodu by vykřižování tratí bylo problematické a tyto konfliktní místa je potřeba ošetřit vhodným provozním opatřením nebo návrhnutím nového pořádku tratí.

- Příletová trať GOSEK

Příletová trať GOSEK je konfliktní s příletovými tratěmi VOZ1A a VOZ1M, jak je znázorněno na obrázku 3.9. Délky úseků mezi průsečíky tratí a počátečním bodem příletové tratě jsou 12,9 NM a 7,7 NM. V bodě konfliktu s odletovou tratí VOZ1A by se přilétávající letadlo nacházelo v nadmořské výšce 16418 ft (FL 160) a 9500 ft (FL 100). V případě odletové tratě VOZ1M by se letadlo nacházelo v nadmořské výšce 13723 ft (FL 130) až 7806 ft (FL 80). Vertikální hranice průletových oken by s největší pravděpodobností zasahovala do vertikálního profilu odletových tratí. Příletová trať GOSEK je s odletovými tratěmi VOZ1A a VOZ1M konfliktní v horizontální a vertikální rovině. Vykřižování letadel by v tomto případě bylo problematické a tyto konfliktní místa je potřeba ošetřit vhodným provozním opatřením nebo návrhnutím nových tratí.



Obr. 3.9 Konflikt příletové tratě GOSEK

- Příletová trať VLM

Příletová trať VLM není konfliktní s odletovými tratěmi RWY24.

3.2.3 Konflikt na přeletu

Přiletové tratě ze severu (GOLOP) a ze západu (LOMKI) se slétávají na IAF (PR562 v případě GOLOP a PR531 v případě LOMKI). Tratě sice mají různé IAF, ale ty se nacházejí v těsné blízkosti. Proto jsem bral okolí těchto bodů jako místo sletu letadel z obou tratí. Přiletové tratě z jihozápadu (GOSEK) a z jihovýchodu (VLM) se také slétávají na fixech počátečního přiblížení, které se nacházejí v těsné blízkosti (PR530 v případě GOSEK a PR553 v případě VLM). Navíc se všechny jmenované tratě slétávají na fixu středního přiblížení PR532, který je pro všechny tratě společný viz příloha č. 7.

Vzhledem k tomu, že řídicí letového provozu by při aplikaci postupu CDA neměl do profilu letu zasahovat, vzniká na výše jmenovaných bodech obrovské riziko vzniku konfliktu. Každé letadlo letící dle CDA si volí vertikální a rychlostní profil letu dle jeho aktuálních provozních podmínek. Z toho vyplývá, že každá vertikální trajektorie letu bude jiná, i když se bude například jednat o stejný typ letadla. Řídicí letového provozu nemá možnost vytvoření rozpočtu pro řazení letadel, protože není schopen určit v jakém čase a v jaké výšce se bude letadlo nacházet nad traťovými body. Takto neřízené přelety mohou vyústit až v neřešitelné situace na sletových bodech.

Různé rychlostní profily, znemožňují řídicím letového provozu dodržet požadovanou časovou sekvenci letadel na přistání a vytvořit tak prostor pro odlet letadel z letiště. Letištní řídicí využívají software, který slouží k určení efektivního času pro spouštění motorů a následný vzlet. Díky tomuto softwaru (Start – Up Manager) dochází k zefektivnění všech úkonů před vzletem a strávení co nejkratšího času na zemi se spuštěnými motory. Dále se ve špičkových hodinách využívá CDM – TOBT, který slouží k urychlení rozhodovacího procesu a zajištění požadované sekvence letadel na vzletu. Pokud pilot letadla přijme tento pokyn, musí být připraven na pojiždění ± 3 min od sděleného času. Ve špičkových hodinách je tvoření sekvence letadel na přistání základním požadavkem, aby byla letadla schopna odletět z letiště. Požadavek na přiletovou sekvenci si TWR volí v rozmezí 4 – 12 NM. Přesnost dodržení zvoleného rozstupu mezi dvěma letadly na přiblížení se ve špičkových hodinách stanovuje na hodnotu ± 1 NM.

Další konflikt, který by při přeletu vznikal, by bylo setkání dvou letadel na stejné přiletové trati letících podle postupů CDA nebo podle rozdílných postupů (jedno CDA a druhé běžný postup). Vzhledem k tomu, že by nešlo zajistit vertikální rozstup mezi letadly, musel by být využit horizontální podélný rozstup. Ten by musel být již vytvářen v době, kdy je letadlo na trati. Nechozílo by k ovlivnění kapacity a propustnosti vzdušného prostoru jen v blízkosti letiště, ale již v řízené oblasti, a to nejen v ČR, ale i v zahraničí.

Z výše uvedených důvodů vyplývá, že aplikace CDA pro RWY24 na LKPR by letový provoz v blízkosti letiště velmi zkomplikovala. Je zapotřebí, vyřešit místa vzniku konfliktů (přilet x odlet, přilet x přilet), zajistit sekvenci letadel na přistání s požadovanou časovou přesností (umožnění efektivního spouštění a odletů bez zdržení) a navrhnout vhodná koordinační opatření mezi jednotlivými stanovišti řízení letového provozu.

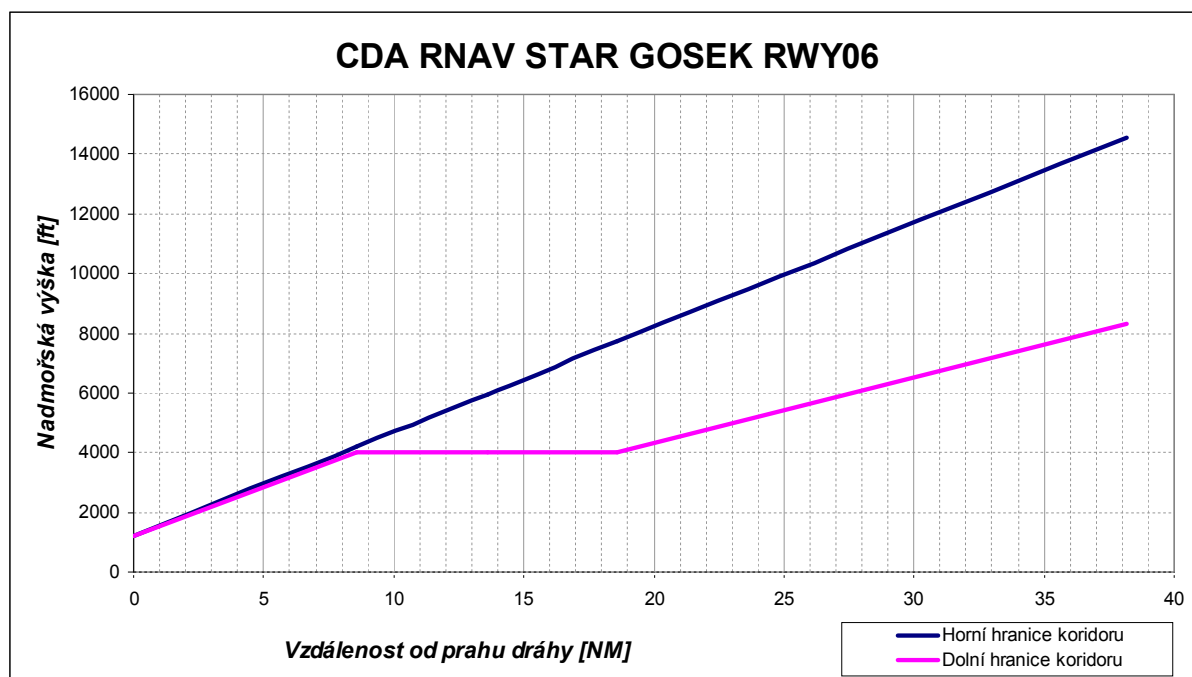
3.3 Analýza tratí standardního přístrojového přiblížení RWY06

Standardní přístrojové přiletové tratě s využitím techniky CDA nebyly pro RWY06 publikovány. Pro vyhodnocení dopadu postupu CDA na kapacitu vzdušného prostoru v okolí letiště LKPR je návrh přiletových tratí navržen podobně, jako tomu bylo v případě směru dráhy 24. Mapa navržených přiletových tratí s nově nadefinovanými traťovými body je uvedena v příloze č. 10. Na obrázku 3.10 je pro názornost uveden systém navržených přiletových tratí v menším měřítku než v příloze č. 10.

V tabulce 3.8 je srovnání navržených příletových tratí s běžně používanými tratěmi pro standardní přístrojový přílet. Délky tratí jsou srovnány od počátečního bodu tratě až po THR. Ze srovnání vyplývá, že navržené tratě jsou ve všech případech kratší. Kromě STAR LOMKI jsou tratě kratší o minimálně 15% délky běžně používaných STAR a v případě STAR GOSEK dokonce 37,1%. Z rozdílnosti délek plyne uvolnění kapacity vzdušného prostoru díky kratšímu času stráveného ve vzduchu. V obou případech je vyžadována přesná prostorová navigace P – RNAV.

Vertikální profil tratí

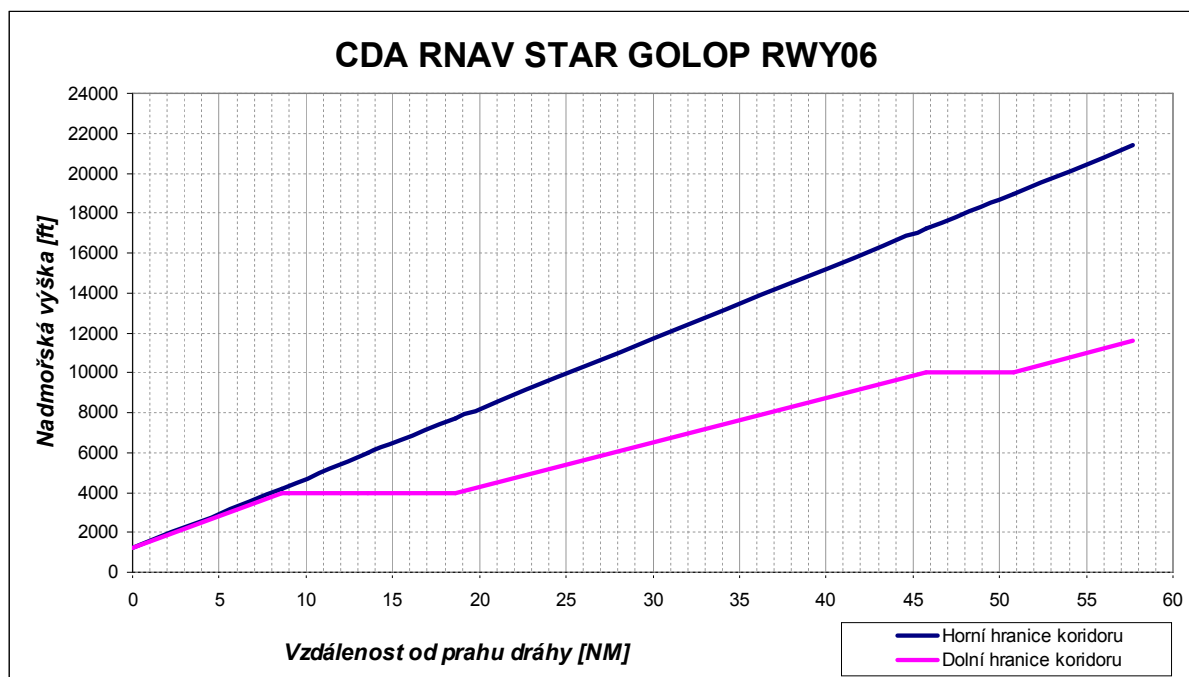
Pro výpočet vertikálního profilu příletových tratí je opět využit vztah uvedený v *ICAO Doc 9931* jako v předchozím případě pro RWY24. V níže uvedených grafech jsou znázorněny vertikální hranice koridoru, ve kterém by se měly uskutečnit všechny přílety využívající techniku CDA bez ohledu na typ a kategorii letadla. Limitní hodnoty gradientů klesání jsou voleny tak, aby se do jejich rozpětí vešly gradienty klesání běžně využívané letadly při přiblížení k letišti. Maximální gradient klesání odpovídá sestupové rovině 3,3° (350 ft/NM) a minimální gradient klesání odpovídá rovině 2° (220 ft/NM). Gradient klesání, který je využíván při přesném přístrojovém přiblížení ILS, odpovídá sestupové rovině 3° (300 ft/NM). Součástí spodní hranice koridoru je opět horizontální segment ve FL 100 pro snížení rychlosti pod 250 kt IAS. V tabulkách pod grafy jsou uvedeny přesné hodnoty nadmořských výšek nad traťovými body. V posledních dvou řádcích tabulek jsou tyto hodnoty zaokrouhleny na 100 ft nebo celé letové hladiny v závislosti na jejich výšce.



Obr. 3.11 Vertikální profil příletové tratě GOSEK

CDA RNAV STAR GOSEK RWY06					
Traťový bod	THR	FAF	PR742/IF	PR061/IAF	GOSEK
Vzdálenost od THR [NM]	0	8,6	13,6	18,6	38,2
Horní hranice koridoru [ft]	1202	4212	5962	7712	14572
Dolní hranice koridoru [ft]	1202	4000	4000	4000	8312
Horní hranice koridoru [ft]	1202	4200	5900	7500	14000
Dolní hranice koridoru [ft]	1202	4000	4000	4000	9000

Tab. 3.9 Vertikální profil příletové tratě GOSEK



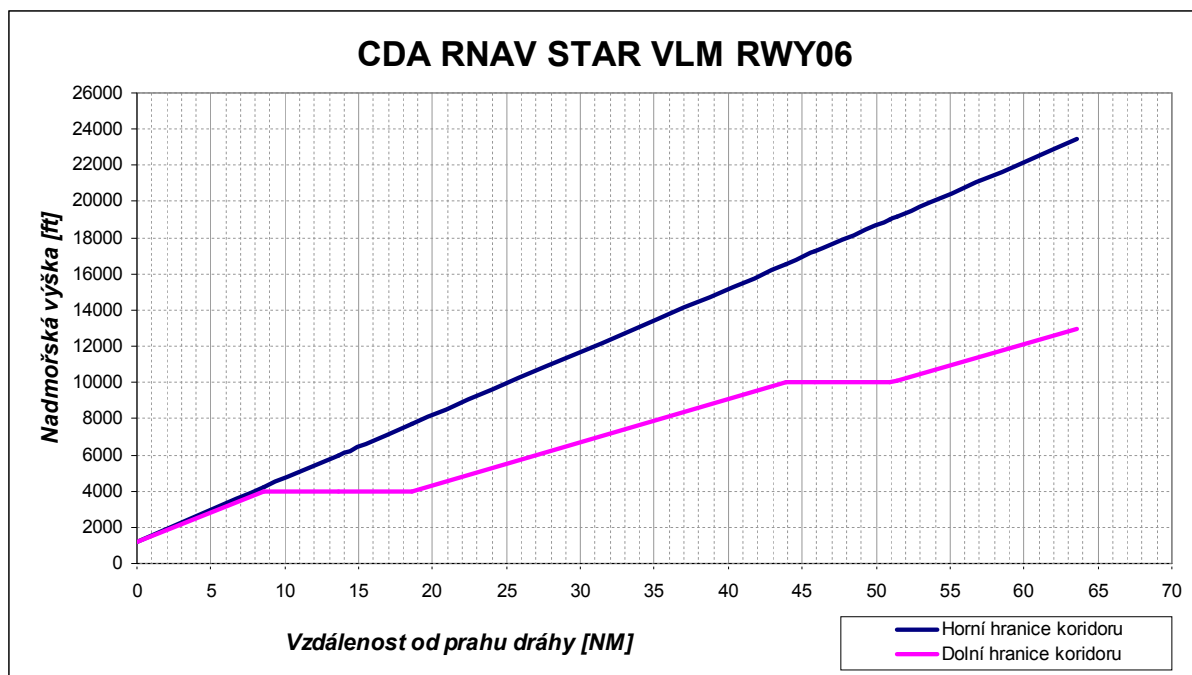
Obr. 3.12 Vertikální profil příletové tratě GOLOP

CDA RNAV STAR GOLOP RWY06					
Traťový bod	THR	FAF	PR742/IF	PR741/IAF	GOLOP
Vzdálenost od THR [NM]	0	8,6	13,6	18,6	57,7
Horní hranice koridoru [ft]	1202	4212	5962	7712	21397
Dolní hranice koridoru [ft]	1202	4000	4000	4000	11518
Horní hranice koridoru [ft]	1202	4200	5900	7500	21000
Dolní hranice koridoru [ft]	1202	4000	4000	4000	12000

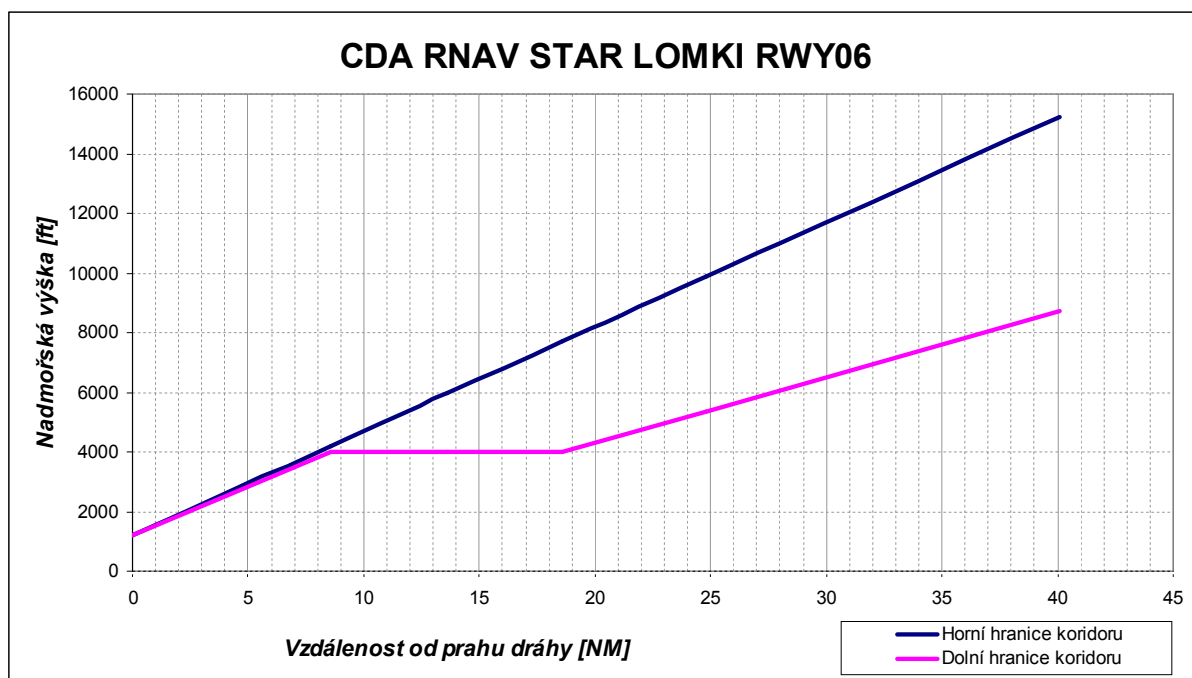
Tab. 3.10 Vertikální profil příletové tratě GOLOP

CDA RNAV STAR VLM RWY06					
Traťový bod	THR	FAF	PR742/IF	PR740/IAF	VLM
Vzdálenost od THR [NM]	0	8,6	13,6	18,6	63,6
Horní hranice koridoru [ft]	1202	4212	5962	7712	23462
Dolní hranice koridoru [ft]	1202	4000	4000	4000	12794
Horní hranice koridoru [ft]	1202	4200	5900	7500	23000
Dolní hranice koridoru [ft]	1202	4000	4000	4000	13000

Tab. 3.11 Vertikální profil příletové tratě VLM



Obr. 3.13 Vertikální profil příletové tratě VLM

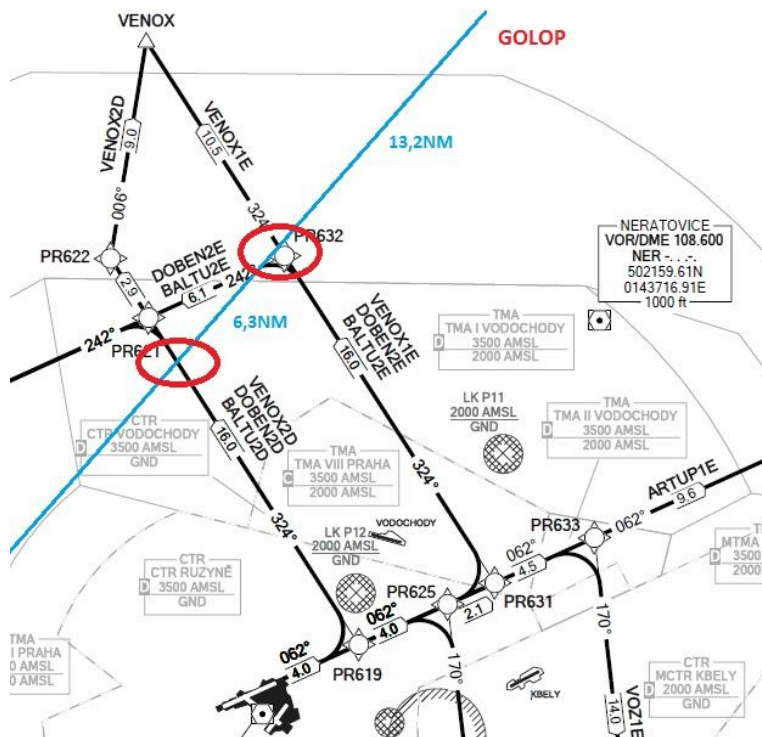


Obr. 3.14 Vertikální profil příletové tratě LOMKI

CDA RNAV STAR LOMKI RWY06					
Traťový bod	THR	FAF	PR742/IF	PR062/IAF	LOMKI
Vzdálenost od THR [NM]	0	8,6	13,6	18,6	40,1
Horní hranice koridoru [ft]	1202	4212	5962	7712	15237
Dolní hranice koridoru [ft]	1202	4000	4000	4000	8730
Horní hranice koridoru [ft]	1202	4200	5900	7500	15000
Dolní hranice koridoru [ft]	1202	4000	4000	4000	9000

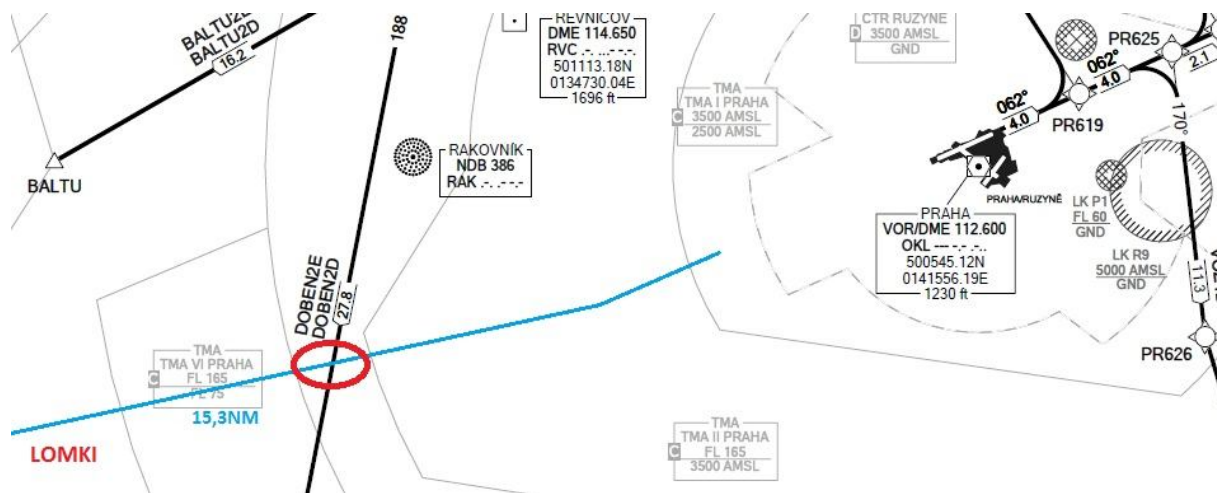
Tab. 3.12 Vertikální profil příletové tratě LOMKI

14528 ft (FL 140) až 8312 ft (FL 90). Příletová trať GOLOP pro RWY06 je konfliktní jak v horizontálních, tak i vertikálních hranicích s odletovými tratěmi.



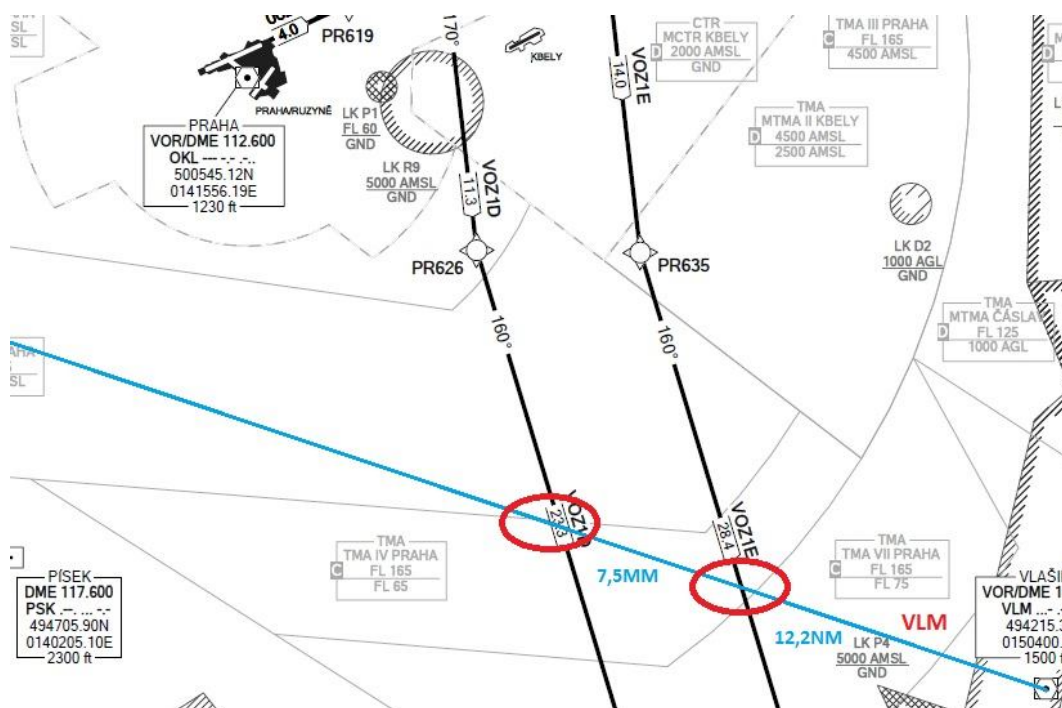
Obr. 3.16 Konflikt příletové tratě GOLOP

- Příletová trať LOMKI
Dle horizontálního průběhu trati se příletová trať LOMKI jeví jako konfliktní s odletovými tratěmi DOBEN2D a DOBEN2E. Bod vykřížování tratí se nachází ve vzdálenosti 15,3 NM, viz obr. 3.17. Průletové okno nad bodem křížení tratí se nachází v nadmořské výšce 9882 ft (FL 90) až 5364 ft (FL 60). Vzhledem ke vzdálenosti od letiště v rámci trajektorie odletových tratí z RWY06 se tato odletová trať jeví jako konfliktní. Vzhledem ale k velké vzdálenosti od THR v případě odletů z letiště, je pravděpodobné, že odlétávající provoz podle SID DOBEN2D a DOBEN2E budou již ve vyšší FL, že je horní vertikální hranice koridoru.



Obr. 3.17 Konflikt příletové tratě LOMKI

- Příletová trať VLM
Příletová trať VLM se dle promítnutí příletové tratě s odletovými tratěmi pro RWY06 jeví jako konfliktní ve dvou místech. První konfliktní bod od počátečního bodu příletové tratě je vzdálen 12,2 NM a druhý konfliktní bod je od předchozího konfliktního bodu vzdálen 7,5 NM, viz obr. 3.18. Příletová trať VLM je konfliktní s tratěmi VOZ1E a VOZ1D. Průletové okno v případě bodu vykřížování blíže k počátečnímu bodu VLM je od nadmořské výšky 19192 ft (FL 190) až 10110 ft (FL 110) a v případě vzdálenějšího bodu od počátečního bodu LOMKI 16567 ft (FL 160) až 9566 ft (FL 100). Díky velké vzdálenosti od THR RWY06 je pravděpodobné, že příletová trať VLM bude konfliktní se zmíněnými odletovými tratěmi. Z tohoto důvodu je potřebné navrhnout vhodná opatření pro příletové nebo odletové tratě z RWY06.



Obr. 3.18 Konflikt příletové tratě VLM

- Příletová trať GOSEK
Podle horizontálních průběhů odletových tratí z RWY06 není příletová trať GOSEK konfliktní.

3.3.3 Konflikt na přeletu

Příletové tratě z jihu (GOSEK) a z jihovýchodu (VLM) se slétávají na IAF (PR061 v případě GOSEK a PR740 v případě VLM). IAF pro zmíněné tratě se nacházejí v těsné blízkosti, proto by při současném přeletu k letišti mohl v tomto místě vznikat konflikt. Všechny navržené příletové tratě se slétávají na IF (PR742), který je pro ně společný. Řídicí letového provozu by při aplikaci CDA neměl do průběhu letu zasahovat, proto by mohly vzniknout i neřešitelné situace při přeletu z více tratí zároveň.

Mezi další komplikace při zavedení postupu CDA pro RWY06 by patřilo zajištění časové sekvence přiletů na letiště, aby byly umožněny plynulé odlety. Dále, jako tomu bylo pro RWY24, by bylo nutné vyřešit přiletu k letišti podle různých postupů přiblížení v jeden

okamžik a zajistit mezi letadly minimální požadované rozstupy. Při klasickém postupu přiblížení a postupu CDA připadají v úvahu jen horizontální rozstupy mezi letadly. Tyto rozstupy by musely být již pečlivě plánovány a koordinovány ve velké vzdálenosti od letiště.

Z výše uvedených důvodů vyplývá, že by aplikace CDA pro RWY06 znamenala obrovské komplikace v udržení plynulosti provozu v blízkosti letiště. Při plánování horizontálních rozstupů na trati by docházelo k ovlivnění provozu i řízené oblasti a to nejen v České republice.

3.4 Dílčí závěr

Na základě provedené analýzy pro RWY06/24 je rozsáhlá aplikace postupu CDA pro přiblížení k LKPR velice problematická. Ze zavedení tohoto postupu pramení velký počet komplikací, míst vzniku potenciálního konfliktu s ostatním letovým provozem a v některých případech může ústít až v neřešitelné situace. Rozsáhlá aplikace CDA na LKPR v dnešním provozním prostředí a za využití dnešních technologií by měla obrovský negativní dopad na kapacitu a propustnost vzdušného prostoru v okolí letiště LKPR.

Mezi oblastmi možného vzniku konfliktu patří:

- konflikt mezi provozem na přiletu a odletu k a z letiště – vzájemné křížení tratí,
- konflikt mezi přilétávajícím provozem využívajícím stejnou příletovou trať – nemožnost zajištění vertikálního rozstupu,
- konflikt mezi přilétávajícím provozem využívajícím různé postupy pro přiblížení – klasický („schodovitý“) postup a postup CDA,
- nemožnost zajištění vertikálního rozstupu od letadla provádějícího přiblížení k letišti dle CDA – nelze jej brát jako zajištěný,
- konflikt mezi přilétávajícím provozem ze všech příletových tratí – slet na jednom bodě (IF),
- nemožnost zajištění požadované časové sekvence na přistání s dostatečnou přesností pro vytvoření časových intervalů pro odletový provoz z letiště,
- příprava horizontálních rozstupů již v řízené oblasti (v České republice i v zahraničí) – ovlivnění plynulosti provozu ve vzdušném provozu nejen v blízkosti LKPR, snížení traťových rychlostí z důvodu vytvoření rozstupu – neefektivní profil letu na trati,
- rozdílná provozní omezení jednotlivých dopravců pro různé fáze letu – nemožnost navrhnout univerzální postup vycházející z doporučení výrobce, protože letecký provozovatel může být ve svých postupech více restriktivní,
- nemožnost zasahovat do postupu CDA řídicími letového provozu, aby nedošlo k narušení nejvíce efektivního profilu trajektorie letadla,
- nemožnost předvídatelnosti průběhu přiblížení letadla k letišti řídicím letového provozu – řídicí letového provozu může jen tušit v jaké nadmořské výšce/FL se bude letadlo nad určitým bodem nacházet, s takovým údajem nemůže počítat a vydat povolení pro průlet pod letadlem na přiblížení – nezajištěný vertikální rozstup,
- vznikání zpoždění odletů z důvodu nepřesného odhadu času přistání letadel na přiletu k letišti,
- možnost vyčkávání letadel na přiletu z důvodu vytvoření dostatečných horizontálních rozstupů před zahájením přiblížení k letišti,
- vznik dalších konfliktů při přiletu nebo odletu z RWY12/30.

Jediný pozitivní dopad, který z analýzy vyplývá, je, že příletové tratě jsou oproti běžně používaným kratší. Čas strávený letadly ve vzduchu by se měl zkrátit. Dále jsou to

samozřejmě nepopiratelné přínosy postupu vedoucí ke snížení spotřeby paliva, emisí a hlukového znečištění v blízkosti letiště LKPR.

Z výše uvedených důvodů ale vyplývá, že před zavedením postupu CDA v dnešních podmínkách by musely být vyřešeny oblasti týkající se nejen návrhu nových příletových a odletových tratí, ale také by přicházela v úvahu restrukturalizace nynější koncové řízené oblasti, vyřešení konfliktu letového provozu při sletu na IF a zajištění sekvence pro přistání atd. V neposlední řadě by se musely navrhnout nouzové postupy v případě zvláštních případů za letu.

4. Návrh řešení konfliktů v současném provozním prostředí

Tato kapitola je zaměřena na návrh vhodných opatření, která by vedla k odstranění jednotlivých konfliktů, jež byly definovány analýzou aplikace CDA na LKPR v předchozí kapitole. Jako nejzásadnější oblasti jsem stanovil následující dvě skupiny:

- konflikt mezi přilétávajícím provozem a provozem na odletu,
- zajištění požadované sekvence na přistání dekonflikce na IAF/IF.

Pro každou oblast je zde uvedeno několik návrhů pro její vyřešení a zvážení možnost uplatnění na LKPR. K ověření aplikovatelnosti některých řešení a stanovení provozních omezení pro příletové a odletové tratě bylo využito softwaru RNAV Validation Tool. Pro uvedená řešení je uvažováno nynější provozní prostředí v okolí LKPR. Možnosti využití nových technologií budou předmětem následující kapitoly.

4.1 Konflikt s odletovými tratěmi

Konfliktní místa jednotlivých příletových tratí k letišti byla identifikována pro RWY06/24 v přecházející kapitole.

4.1.1 Vertikální omezení trat'ových bodů

Vertikální profily koridorů příletových tratí jsou vypočítány v podkapitolách 3.2.1. a 3.3.1 Níže jsou uvedeny hodnoty letových hladin vertikálního omezení („příletových oken“) pro jednotlivé tratě nad místem křížení s odletovou tratí.

RWY24:

- GOLOP
 - Tato příletová trať je nekonfliktní.
- GOSEK
 - VOZ1A – FL 100 – FL 160
 - VOZ1M – FL 80 – FL 130
- LOMKI
 - ATUP1A, BALTU2A, VENOX1A – FL 100 – FL 160
 - ARTUP1M, VENOX1M – FL 80 – FL 130
- VLM
 - Tato příletová trať je nekonfliktní.

RWY06:

- GOLOP
 - BALTU2E, DOBEN2E, VENOX1E – FL 100 – FL 160
 - BALTU2D, DOBEN2D, VENOX2D – FL 90 – FL 140
- GOSEK
 - Tato příletová trať je nekonfliktní.
- LOMKI
 - DOBEN2D, DOBEN2E – FL 60 – FL 100
- VLM
 - VOZ1E – FL 100 – FL 190
 - VOZ1D – FL 100 – FL 160

Při obdržení povolení ke klesání dle CDA je pilot oprávněn zahájit sestup dle jeho uvážení, aby bylo dosaženo nejvýhodnějšího vertikálního profilu letu. Je mu tedy povoleno klesat z ToD až do nadmořské výšky, která odpovídá hodnotě na FAF v případě LKPR do nadmořské výšky 4000 ft. Dle *ICAO Doc 9931* by měla být využita například následující fráze:

„Descent at own discretion.“ nebo „Descent when ready.“

„Descent 4000 ft, QNH, cleared CDA and ILS approach runway 24.“ (využito při testování postupu CDA).

Vzhledem k tomu, že nové technologie (znalost přesné polohy a výšky letadla nad daným bodem v určitém čase) nejsou zatím k dispozici, řídící letového provozu nemůže pod takto klesajícím letadlem povolit průlet jiného letadla, i když může předpokládat, že letadlo by se mělo pohybovat v mezích koridoru. Využití výše uvedených „průletových oken“ proto nepřichází v úvahu.

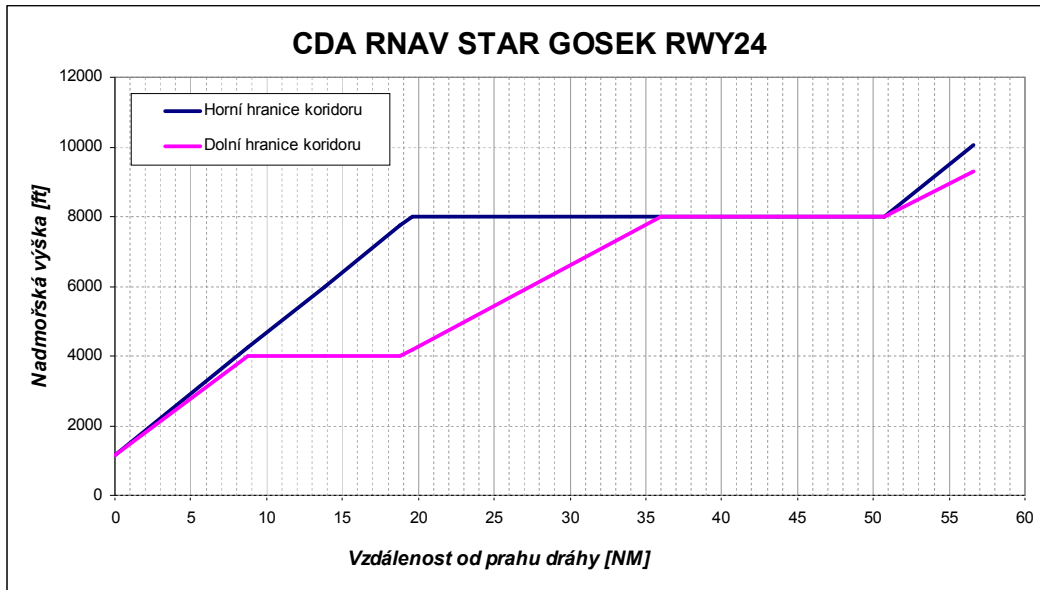
4.1.2 Zařazení horizontálního segmentu

Další řešení je zařazení horizontálního segmentu do postupu CDA v místech křížení příletových a odletových tratí. V tomto případě by byla výška letadla přesně daná a podle výkonových charakteristik letadel odlétávajících z letiště by bylo možné přilétávající provoz nadlétnout nebo podlétnout. Po vykřížení provozu by letadla mohla pokračovat v klesání nebo ve stoupání. V tomto případě by se nejednalo o CDA po celé délce trajektorie přiblížení k letišti. Celková úspora paliva by nebyla tak vysoká.

Při zařazení horizontálního segmentu dojde ke snížení horní a spodní hranice koridoru. Horní hranice koridoru bude od THR plynule stoupat pod úhlem $3,3^\circ$ až po dosažení FL odpovídající horizontálnímu segmentu. Průběh spodní hranice vertikálního koridoru bude od THR probíhat stejně jako v předchozích případech až do bodu křížení tratí. Zde bude zařazen horizontální segment. Jeho délku jsem zvolil 7 NM, aby bylo letadlo na požadované výšce ve vzdálenosti odpovídající minimální hodnotě radarového rozstupu (5 NM) a toleranci P – RNAV (2 NM – ± 1 NM pro obě letadla). Po něm bude následovat nový koridor, který se bude rozevírat od konce tohoto segmentu. Níže jsou uvedeny grafy s vertikálními hranicemi takto vzniklých koridorů.

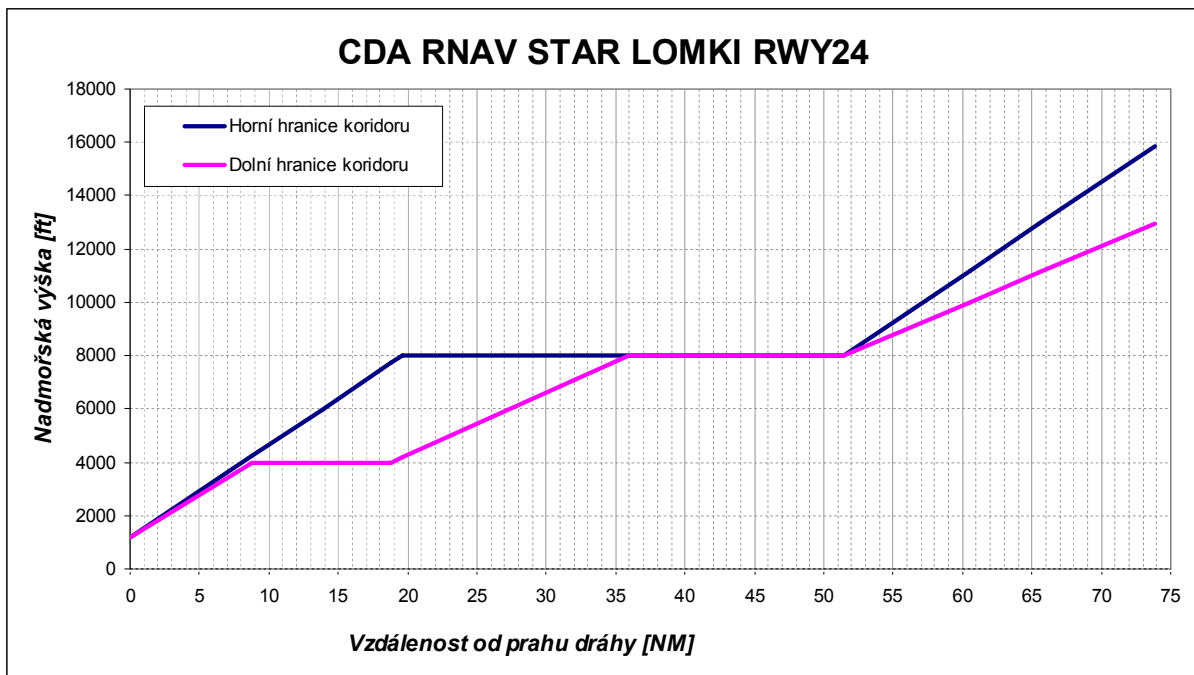
RWY24:

- Příletová trať GOSEK



Obr. 4.1 Vertikální profil příletové tratě GOSEK

- Příletová trať LOMKI

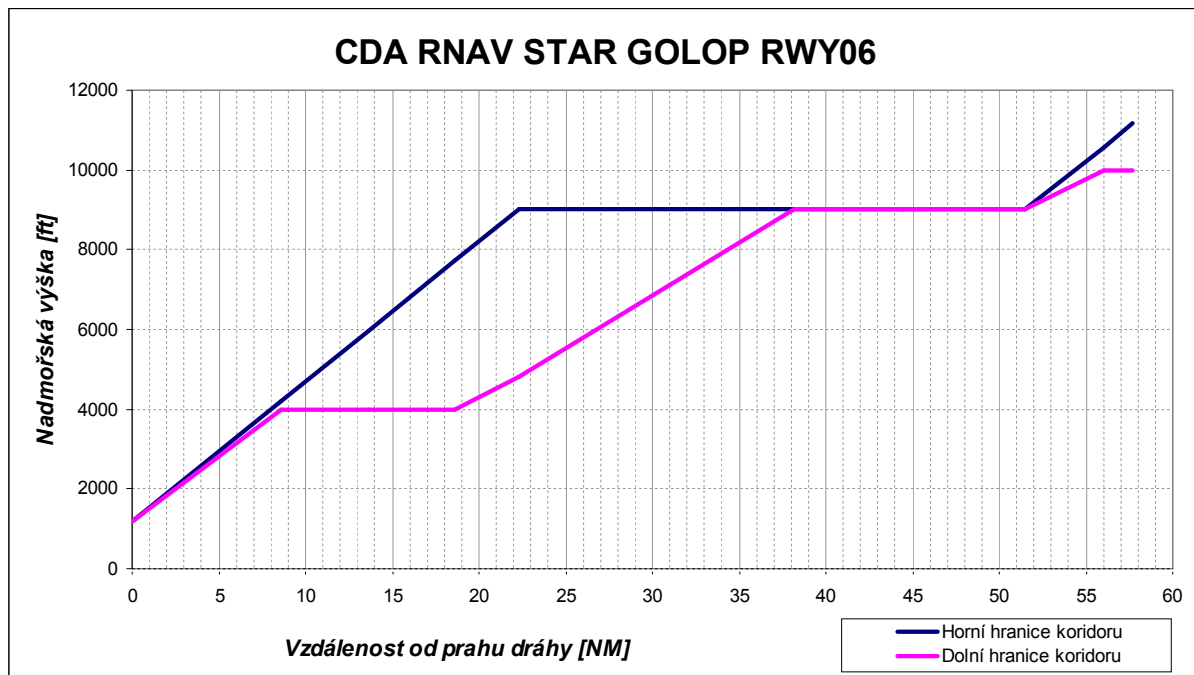


Obr. 4.2 Vertikální profil příletové tratě LOMKI

- Příletová trať GOLOP a VLM jsou nekonfliktní. Vertikální profil příletového koridoru by odpovídal obr. 3.3 a 3.4.

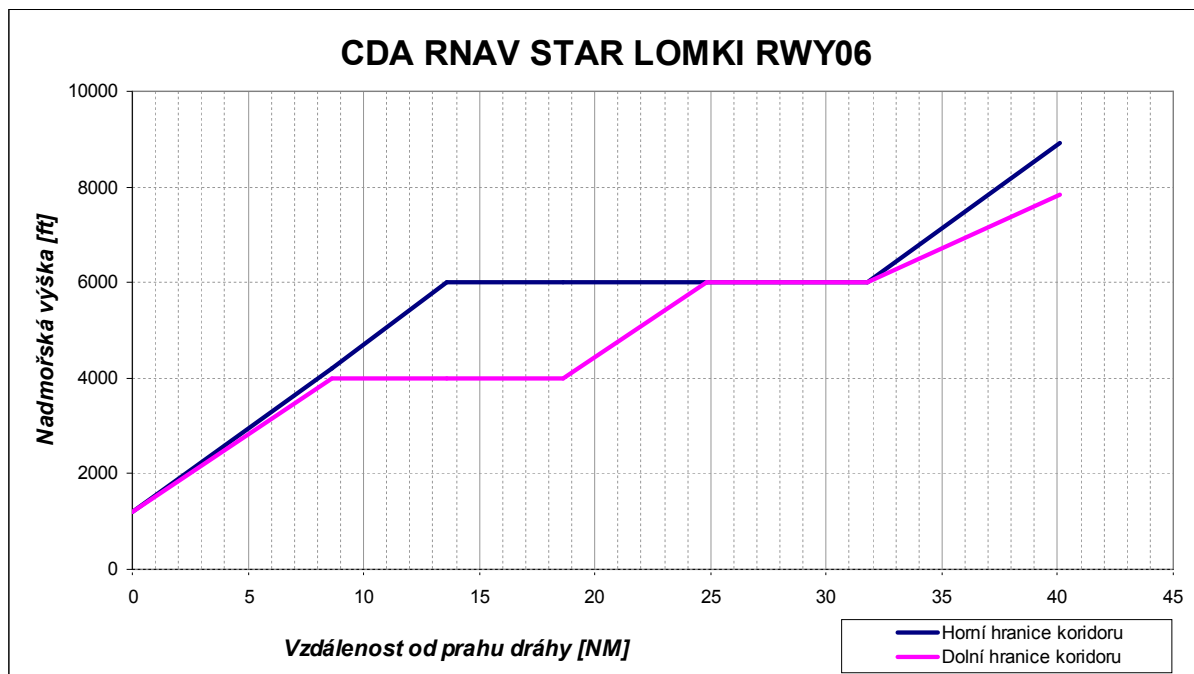
RWY06:

- Příletová trať GOLOP



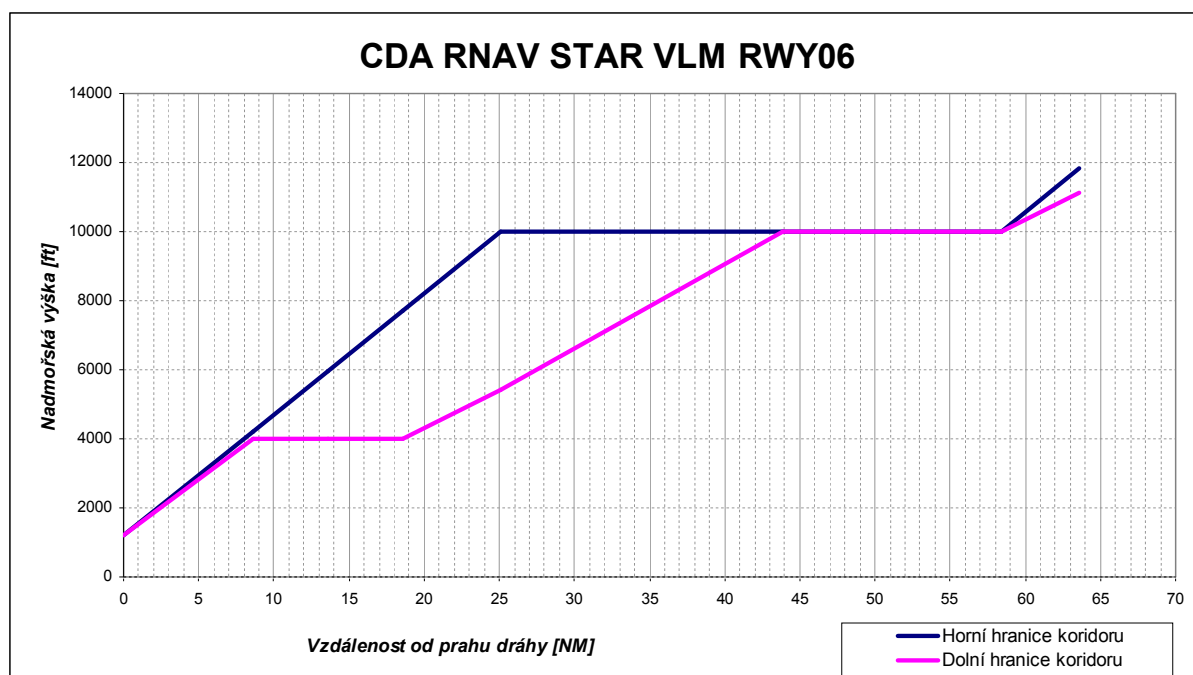
Obr. 4.3 Vertikální profil příletové tratě GOLOP

- Příletová trať LOMKI



Obr. 4.4 Vertikální profil příletové tratě LOMKI

- Příletová trať VLM



Obr. 4.5 Vertikální profil příletové trati VLM

- Příletová trať GOSEK je nekonfliktní a vertikální profil koridoru odpovídá obr. 3.11.

Takto navržené řešení rozdělí postup CDA u konfliktních tratí na dvě části a rapidně sníží hodnoty letových hladin, z kterých je možné zahájit postup CDA. První část začíná od vstupního bodu až po dosažení horizontálního segmentu. Tento segment není pro všechny trati stejně dlouhý. Jeho délka je závislá na tom, zda se daná trať kříží s jednou nebo dvěma odletovými trati. Vzdálenost paralelních odletových tratí se pohybuje od 7 NM do 8 NM. Z tohoto důvodu jsem zvolil horizontální segment delší, aby došlo k vykřížení s oběma odletovými trati zároveň. Letová hladina těchto segmentů odpovídá hodnotě, na kterou plynule navazuje spodní hranice koridoru pro klesání do nadmořské výšky 4000 ft.

Příletová trať		Původní rozpětí letových hladin	Nové rozpětí letových hladin	Horizontální segment
RWY24	GOSEK	FL 200 – FL 120	FL 100 – FL 9;0	FL 80
	LOMKI	FL 270 – FL 160	FL 150 – FL 130	FL 80
RWY06	GOLOP	FL 140 – FL 90	FL 110 – FL 100	FL 90
	LOMKI	FL 150 – FL 90	FL 90 – FL 80	FL 60
	VLM	FL 230 – FL 130	FL 120 – FL 110	FL 100

Tab. 4.1 Porovnání tratí

První část CDA od vstupního bodu se u většiny konfliktních tratí pohybuje v délce od 5 NM do 10 NM. Výjimku tvoří pouze příletová trať LOMKI pro RWY24. V tomto případě je délka 22 NM. Pokud by nebyl postup CDA rozšířen například až na hranice České republiky, je nutné zvážit, zda další komplikování postupu přiletu k letišti stojí za využití CDA na délce 5 NM. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl využít pro přilet k letišti pouze druhou část, tedy až po vykřížování s odletovými trati. Postup CDA by byl nabízen pouze v omezené míře, jak je tomu na některých evropských letištích. Podle filozofie

EUROCONTROL by měl být postup CDA využit i v omezené možné míře, pokud by přinesl pozitivní dopad na spotřebu paliva a snížení emisí CO₂.

Navržený systém příletových tratí pro RWY06/24 s využitím horizontálního segmentu pro dekonflikci s odletovými tratěmi je uveden na mapách standardního přístrojového přiletu v příloze č. 12. Na těchto mapách jsou zahrnuta provozní omezení, která byla stanovena testováním tratí v další podkapitole. Pokud by se jednalo o konfliktní příletové tratě, letadla by od počátečního bodu dané tratě udržovala předepsanou letovou hladinu a po minutí traťového bodu, který odpovídá průsečíku příletových a odletových tratí, by mohla zahájit postup CDA. Řídící letového provozu by jim k tomu musel dát povolení dle aktuální provozní situace.

4.1.3 Analýza navrženého systému příletových tratí

Pro analýzu navržených příletových tratí jsem využil software RNAV Validation Tool. Před definováním samotných tratí je nutné zvolit evropský region, ve kterém se nachází daný stát (pro Českou republiku – Southern Europe). Dalším krokem je nadefinování zvoleného letiště. Parametry k určení letiště jsou uvedeny v příloze č. 13. Pro zvolené letiště je nezbytné nadefinovat parametry RWY (viz příloha č. 13). Nyní je možné navrhnout procedury pro zvolený směr RWY (SID, STAR, LNAV/VNAV, LNAV). Každá procedura je dána jednotlivými letovými segmenty.

Letový segment je definován počátečním bodem, délkou, magnetickým a zeměpisným kurzem, kategorií prostorové navigace (v tomto případě P – RNAV s odchylkou ± 1 NM). Dále se pro letový segment definuje rychlostní omezení (tato rychlost je držena po celou délku letového segmentu), výškové omezení (zvolená nadmořská výška by měla být dosažena na konci segmentu, pokud to výkonnostní charakteristiky zvoleného typu letadla dovolují). Výškové omezení lze definovat jako přesnou hodnotu nadmořské výšky nebo jako nad/pod zvolenou hodnotou. Letový segment je ukončen následujícím traťovým bodem, který je dán zeměpisnými souřadnicemi a popřípadě navigačním zařízením. V programovém okně je možné vybrat, zda konečný bod letového segmentu má být letěn přes (fly – over) nebo kolem (fly – by). Mezi posledními parametry, které lze definovat, je úhel náklonu při zatáčení a úhel stoupání nebo klesání. Programové okno letový segment je uvedeno v příloze č. 13.

Navržené příletové a odletové tratě byly testovány různými typy letadel z databáze programu. Typy letadel jsou definovány vzletovou hmotností a hmotností při přistání, viz tabulka 4.2 na další straně. Všechny uvedené typy letadel byly schopny prolétnout navržené tratě s výškovými i rychlostními omezeními bez jakýchkoliv problémů.

Další část této podkapitoly je zaměřena na definování provozních omezení pro příletové a odletové tratě, aby bylo umožněno využití postupu CDA alespoň v omezené míře bez konfliktů mezi přilétávajícím a odlétávajícím provozem z letiště. Konfliktní místa jsou znázorněna pomocí vizualizace tratí. Příletové tratě jsou vždy znázorněny červenou barvou. Odletové tratě jsou znázorněny žlutou barvou. Pokud je příletová trať konfliktní ve více místech, další odletová trať má modrou barvu. Na vizualizacích jsou zobrazena konfliktní místa již s aplikovanými provozními omezeními. Ve všech případech se jedná o výšková omezení. Konfliktní odletové tratě byly testovány všemi typy letadel uvedenými níže. Pokud alespoň jedno z nich nebylo schopné být v letové hladině minimálně o jednu vyšší, než byla letová hladina horizontálního segmentu příletové tratě, v dostatečné vzdálenosti od bodu křížení tratí (7 NM), stanovil jsem pro odletovou trať výškové omezení. V takovém případě mohou letadla na odletu stoupat do letové hladiny o jednu nižší, než je letová hladina horizontálního segmentu příletové tratě.

Typ letadla	Vzletová hmotnost [t]	Hmotnost při přistání [t]
A1P	3,4	3,0
B1P	15,0	13,5
B2P	20,0	16,0
C1J	37,0	31,0
C2J	55,0	40,0
C3J	60,0	45,0
C4J	55,0	48,0
C5J	220,0	160,0
C6J	180,0	160,0
C7J	80,0	55,0
C8J	70,0	60,0
C9J	65,0	61,0
C10J	127,5	105,0
C11J	140,0	125,0
C12J	140,0	120,0
C13J	4,5	3,8
C1M	14,0	10,0
C2M	22,5	17,0
D2J	360,0	240,0

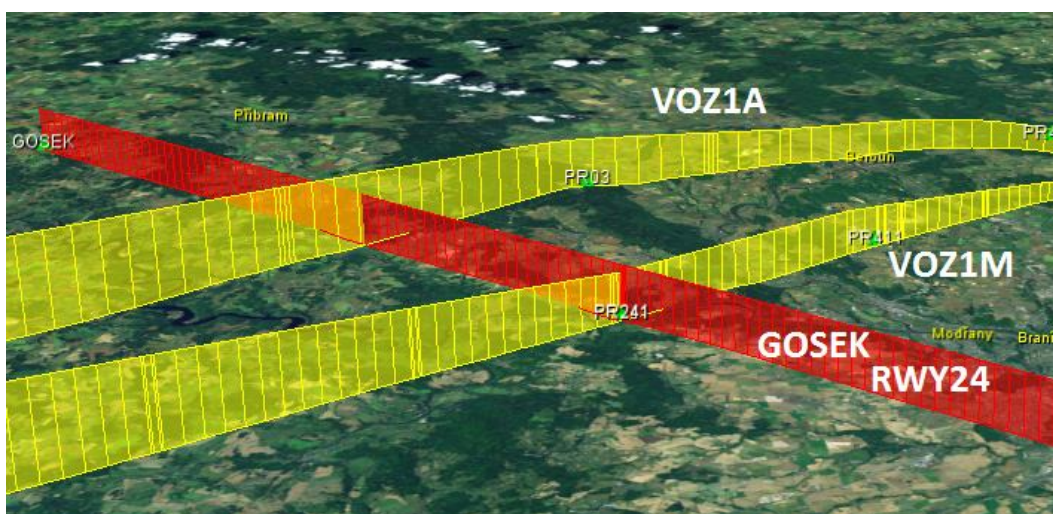
Tab. 4.2 Typy letadel v databázi softwaru RNAV Validation Tool

RWY24:

- Příletová trať GOSEK RWY24

Horizontální segment ve FL 80 příletové tratě začíná na traťovém bodu GOSEK a končí na traťovém bodu PR241. Od tohoto bodu mohou letadla zahájit postup CDA do nadmořské výšky 4000 ft, která musí být dosažena na FAF.

Testováním odletových tratí jsem zjistil, že v případě odletové tratě VOZ1A mají všechny typy letadel na traťovém bodu PR403 minimálně FL 90. Vzdálenost traťového bodu PR403 od bodu křížení tratí je 6,3 NM. V případě tohoto konfliktu je zajištěn požadovaný vertikální rozstup mezi letovým provozem.



Obr. 4.6 Vizualizace příletové tratě GOSEK RWY24

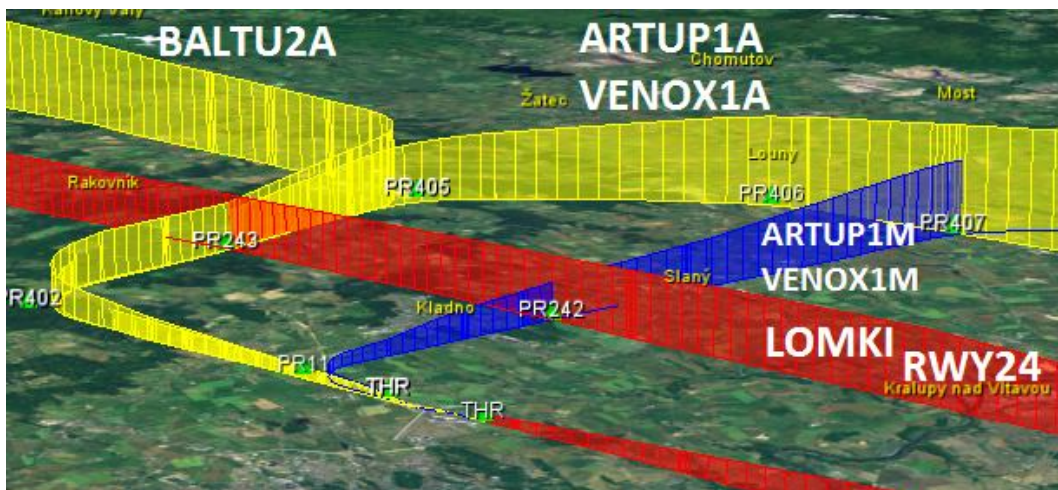
Odletová trať VOZ1M je s příletovou tratí GOSEK konfliktní v bodě PR241. V porovnání s předchozí odletovou tratí (VOZ1A) je vzdálenost bodu křížení od THR

RWY06 kratší asi o 10 NM. Pouze typy letadel C10J, C13J a C1M byly schopné dosáhnout minimálně FL 90 v dostatečné vzdálenosti od bodu křížení. Z tohoto důvodu by letadlům využívajícím odletovou trať VOZ1M mělo být povoleno stoupat po vzletu jen do FL 80 a až po minutí traťového bodu PR241 by bylo povoleno další stoupání.

- Příletová trať LOMKI RWY24

Horizontální segment pro příletovou trať LOMKI byl z důvodu dekonflikce s odletovým provozem určen na FL 80. Konfliktní místa s odletovými tratěmi se nacházejí ve vzdálenosti asi 7 NM (odletové tratě – ARTUP1M, VENOX1M) a 15 NM (odletové tratě – ARTUP1A, BALTU2A, VENOX1A) od THR RWY. V obou případech nebyl žádný typ letadla schopen nastoupat minimálně do FL 90, aby byl zajištěn vertikální rozstup.

Proto je nezbytné povolit provozu na odletu z letiště stoupat maximálně do FL 70 a po minutí traťových bodů PR242 (odletové tratě – ARTUP1M, VENOX1M) a PR243 (odletové tratě – ARTUP1A, BALTU2A, VENOX1A) povolit další stoupání do cestovní hladiny.



Obr. 4.7 Vizualizace příletové tratě GOSEK RWY24

RWY06:

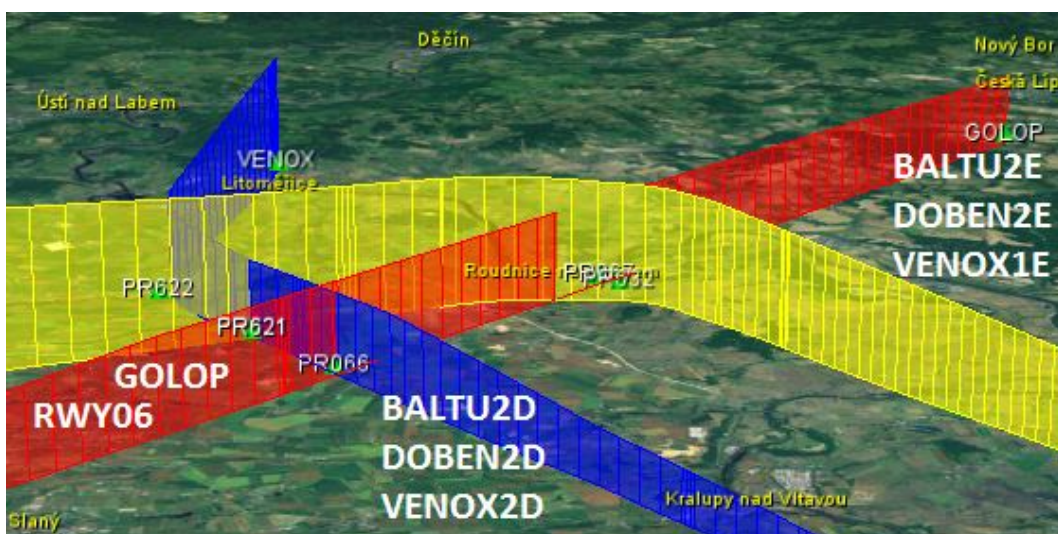
- Příletová trať GOLOP RWY06

Příletová trať GOLOP je konfliktní na dvou místech s odletovými tratěmi.

Odletové tratě BALTU2D, DOBEN2D a VENOX2D se protínají s příletovou tratí ve vzdálenosti 18 NM od THR RWY24 na traťovém bodu PR066. Hodnota horizontálního segmentu byla vypočítána na FL 90. Ve vzdálenosti alespoň 7 NM od bodu křížení byla schopna nastoupat minimálně do FL 100 letadla typu B1P, C13J a C1M. Proto je nutné povolit stoupání po vzletu pouze do FL 80 a až po minutí PR066 povolit další stoupání. V případě, že by došlo ke křížení provozu na přiletu a odletu přesně na bodu PR066, je vhodné pro odletové tratě BALTU2D a DOBEN2D pozdržet povolení k dalšímu stoupání nebo pokračovat až na traťový bod PR622 a až poté točit levou zatáčku na další traťový bod ESINU. Kdyby na traťovém bodě PR066 začalo letadlo na přiletu klesat a letadlo na odletu stoupat a zároveň začalo točit levou zatáčku na traťový bod ESINU, mohlo by dojít ke snížení příčného rozstupu mezi provozem. Vertikální rozstup by mohl být porušen.

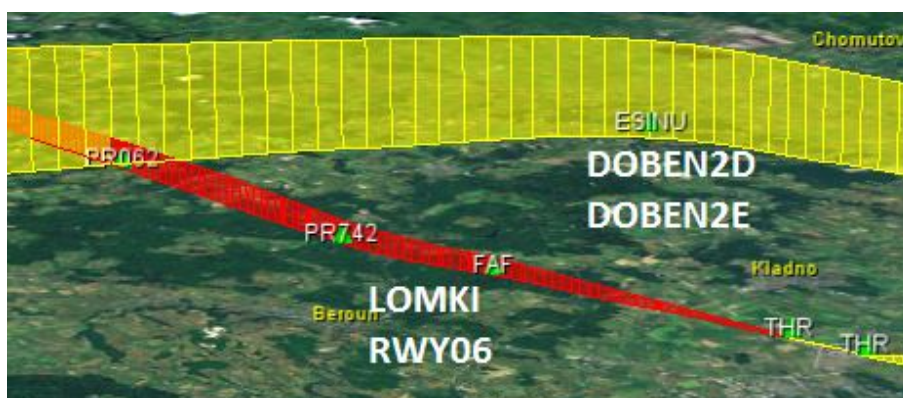
Odletové tratě BALTU2E, DOBEN2E a VENOX1E se protínají s příletovou tratí GOLOP ve vzdálenosti 26 NM od THR RWY24 na traťovém bodu PR067. Během

testování byla všechna letadla z databáze softwaru schopna dosáhnout FL 100 v dostatečné vzdálenosti před dosažením traťového bodu PR067. V tomto případě není nutné omezovat odlety z letiště.



Obr. 4.8 Vizualizace příletové tratě GOLOP RWY206

- Příletová trať LOMKI RWY06

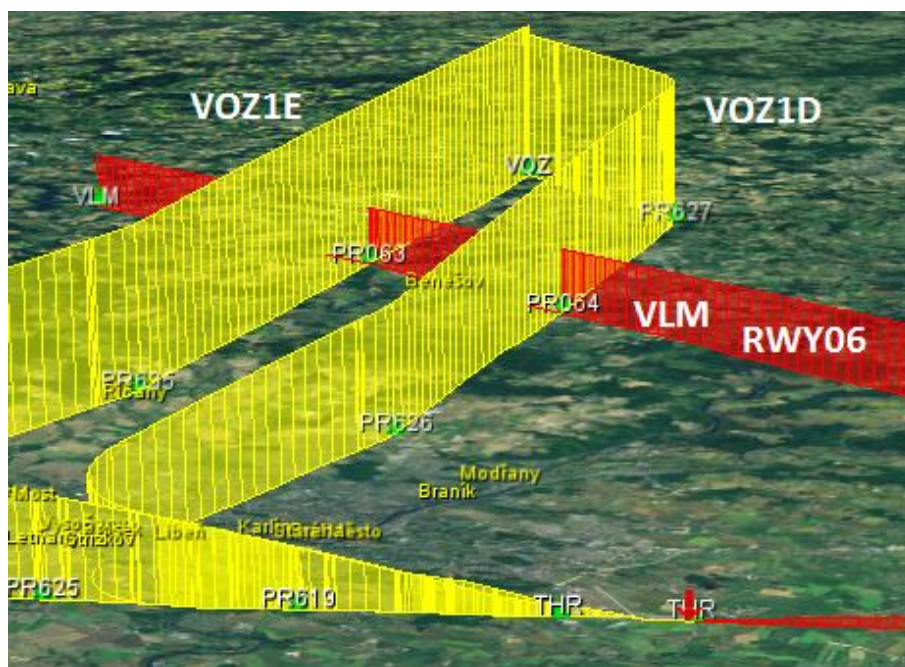


Obr. 4.9 Vizualizace příletové tratě LOMKI RWY206

Z vizualizace na obrázku 4.9 vyplývá, že letadla na odletu nadletí příletovou trať LOMKI s dostatečnou rezervou. Proto stojí za zvážení rozšíření příletového koridoru. Po provedení podrobnějšího testování odletové trati BALTU2D, je možné příletový koridor rozšířit až do vstupního bodu LOMKI. Vertikální hranice koridoru by poté odpovídaly hranicím, které jsou uvedeny v tabulce 3.12 a na obrázku 3.14. Postup CDA by mohl být zahájen v rozmezí FL 150 – FL 90. Všechny typy letadel uvedené v databázi programu dosáhnou minimálně FL 140 ve vzdálenosti 7 NM od bodu průniku příletové a odletové tratě PR063. Dle průběhu horní hranice vertikálního profilu příletového koridoru by letadlo na přeletu mělo být nejvýše v FL 130 ve vzdálenosti 7 NM od bodu PR063. Z toho vyplývá, že mezi letadly bude zajištěn dostatečný vertikální rozstup.

- Příletová trať VLM RWY06
STAR VLM je konfliktní ve dvou místech, ale simulací odletových tratí bylo zjištěno, že všechny typy letadel jsou schopny v obou případech nastoupat nad FL 100

v dostatečné vzdálenosti od bodů křížení tratí. Není nutné zavádět provozní omezení pro odlety z LKPR využívající tratě VOZ1D a VOZ1E.



Obr. 4.10 Vizualizace příletové tratě VLM RWY206

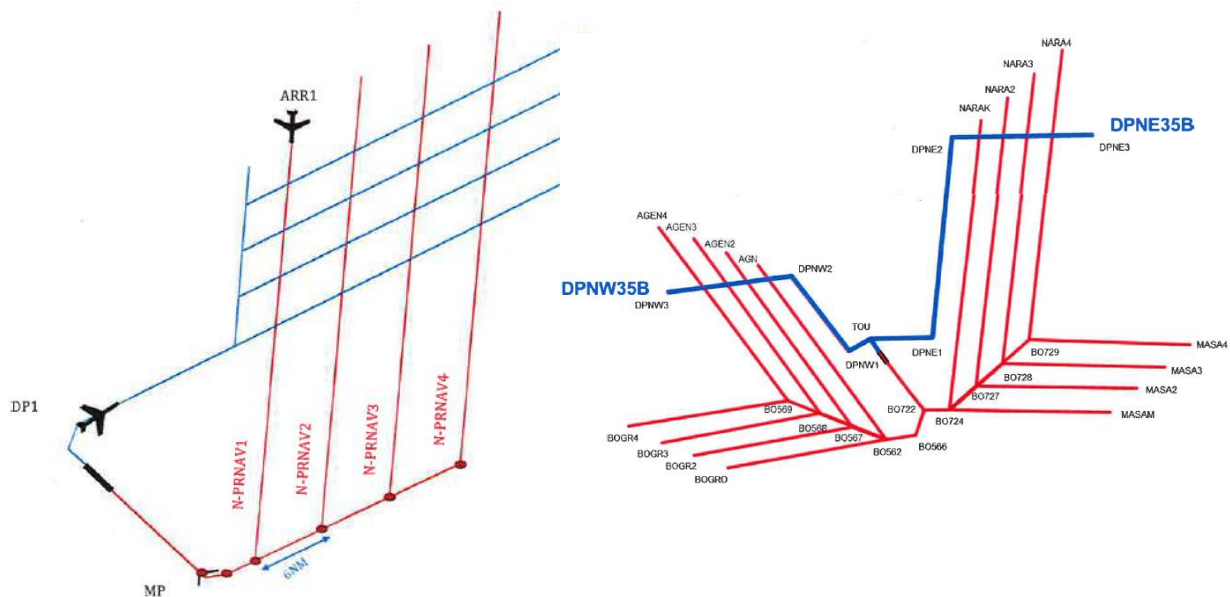
Zde se opět nabízí možnost rozšíření příletového koridoru. Po provedení podrobného testování odletových tratí, to však není možné. V případě odletové tratě VOZ1D nejsou všechna letadla schopna dosáhnout vyšší letovou hladinu než FL 110 ve vzdálenosti 7 NM od průsečíků tratí. FL 110 je minimální hodnota letové hladiny, která je nutná, aby mohl být příletový koridor využit alespoň v takto omezené míře. Konkrétně letadla typů C1J, C5J, C6J, C12J, C2M, A1P, B1P a D2J dosáhly výšky mezi FL 110 až FL 120.

V ostatním případech není možné koridor rozšířit, protože letadla na odletových tratích nejsou schopna koridor nadletět. K vykřížení provozu by muselo dojít podletěním, z čehož by plynula nejistota v zajištění vertikálního rozstupu mezi letadly. V této podkapitole byl vhodnými provozními omezeními pro příletové tratě a odletové tratě navržen systém tratí, aby bylo možné využít postup CDA na LKPR. U některých příletových tratí došlo ke zkrácení délky letového úseku, v kterém je možné využít postup z důvodu zajištění bezpečného vykřížování letadel. Navržené řešení, ale neodstraňuje zbývající oblasti konfliktů a to především zajištění požadované sekvence na přistání a slet tratí na společném traťovém bodě IF.

4.1.4 Další možná řešení

Jedno z možných řešení konfliktů mezi přílety a odlety z letiště bylo představeno během 3. evropského workshopu zabývajících se problematikou CDO v Bruselu v březnu 2013. Navržené řešení počítá se zcela novým systémem příletových a odletových tratí. Hlavní myšlenkou tohoto způsobu řešení je nasměrovat odlétávající letadla na rovnoběžnou trať s příletovou tratí v co nejkratším čase po odletu z letiště. Mezi paralelními tratěmi je volena vzdálenost odpovídající minimálnímu příčnému rozstupu. Letadla na odletu mohou plynule

stoupat do cestovní hladiny, a jak to provozní situace dovolí, jsou otočena na další traťový bod. Systém příletových a odletových tratí je znázorněn na obr. 4.11.



Obr. 4.11 Další způsob vykřižování letového provozu [25]

Výhodou tohoto způsobu je jeho jednoduchost a bezpečnost umožňující dekonflikci tratí. Hlavní nevýhodou je, že pokud odlétávající letadlo potřebuje letět opačným směrem, může být jeho letová trať prodloužena i o několik desítek NM. V případě dráhového systému na LKPR, odkud lety směřují téměř na všechny světové strany, není toto řešení vhodné. Muselo by dojít k vytvoření nového systému tratí v okolí letiště. Další komplikace by vznikaly při odletu z RWY12/30. Toto řešení by se dalo efektivně využít v budoucnosti v případě zprovoznění paralelní dráhy. Letadla by při odletu využila takový směr RWY, aby mohla plynule stoupat do cestovní hladiny ve směru jejich letového plánu. Tudiž by nedocházelo k tak markantnímu prodloužení letových tratí.

4.2 Konflikt na příletu a vytvoření sekvence

Konflikt během příletu k letišti může nastat mezi letadly využívajícími různé způsoby přiblížení k letišti, na sletu letadel na jednom traťovém bodě (IF) a na to navazující požadované sekvence na přistání. Při současné provozní situaci a aplikaci CDA i ve špičkových hodinách letiště, by bylo vyřešení všech zmíněných oblastí velice problematické až nemožné. V následujícím textu se pokusím vysvětlit, proč by nabízená doporučení nebyla vhodná v případě LKPR.

- Path Stretching

V případě letiště LKPR nepřichází tato metoda v úvahu, protože při délkách příletových tratí (od 35 NM do 70 NM) by musel být dodatečný traťový bod volen ve velké vzdálenosti od definované trati. Aby mezi letadly vznikl podélný časový rozstup o 1 minutu větší, musela by být trať prodloužena o 4 NM při rychlosti 250 kt. Kolmá vzdálenost dodatečného traťového bodu od definované trati by se pohybovala v rozmezí od 8,6 NM až do 12 NM. Rozšíření příletových koridorů v horizontálních hranicích je v případě TMA LKPR naprosto nemyslitelné. Metoda Path Stretching je vhodná pro zajištění podélných rozstupů v rámci řízené oblasti.

- Merge Point

Metoda Merge Point je jednou z technik, která může být využita k řešení konfliktů na příletu a zároveň k vytvoření požadované sekvence na přistání. Tato metoda je například úspěšně využívána na norském letišti v Oslu (ICAO kód – ENGM). Základní rozdíl mezi ENGM a LKPR je ale v dráhovém systému letišť. Letiště ENGM využívá dvě paralelní RWY01/19 L/R. Pro každý směr dráhy jsou na letišti v Oslu využívány dva Merge Point, které zároveň představují IAF. Od Merge Point jsou vytvořeny dva oblouky ve vzdálenosti zhruba 18 NM. Na každý Merge Point se slétává provoz ze tří STAR. Aby nedošlo ke konfliktu v provozu, každá STAR má předepsanou svoji letovou hladinu na příletovém bodu oblouku k vytvoření vertikálních rozstupů mezi letadly (FL 80, FL 90 a FL 100). Podle potřeby vytvoření sekvence letadel na přistání mohou letadla pokračovat přímo na Merge Point, nebo letí podél oblouku definovaného traťovými body a následně jsou otočena na Merge Point. Výhodou dvou paralelních drah je, že odpadá konflikt sletu provozu na IF z Merge Point. V případě možného vzniku konfliktu jsou využívány rozdílné RWY. V příloze č. 14 je uvedena mapa standardních přístrojových příletů na RWY01L/R na letišti ENGM z norského AIP.

K vyřešení konfliktů na příletu a zajištění sekvence na LKPR by bylo nutné vytvořit jeden Merge Point, který by byl zároveň společným IAF pro všechny příletové tratě. Vzhledem k tomu, že jsou příletové tratě ze všech světových směrů, musel by se tento bod nacházet v prodloužené ose RWY, aby byl vhodný pro všechny tratě. Z důvodu zajištění vertikálního rozstupu mezi letadly z různých příletových tratí by musela letadla mít na vstupním bodě oblouku předepsanou letovou hladinu. Některé vertikální koridory příletových tratí by nemohly být poskytovány v plném rozsahu vertikálních hranic i přesto, že nejsou konfliktní s odletovými tratěmi. Postup CDA by probíhal pouze od obloukového segmentu až po IAF potažmo FAF. Vzdálenost obloukového segmentu od Merge Point je závislá na vstupních letových hladinách do segmentů, aby byla letadla schopná sklesat do definované nadmořské výšky na IAF. Při uvážení rozsahu letových hladin FL 80 – FL 110 (vertikální dekonflikce příletových tratí na obloukovém segmentu) a klesání do nadmořské výšky 5000 ft na IAF by byla vzdálenost v rozmezí 9 – 27 NM. Při vynesení oblouku o tomto poloměru do mapy je na první pohled patrné, že by došlo nejen k rapidnímu nárůstu délek jednotlivých tratí, ale také ke konfliktům například s TRA61 a TRA62 v případě RWY24 a R5A a R5B v případě RWY06. Nedostatkem prostoru v okolí LKPR by vznikla další konfliktní místa s odletovými tratěmi.

Při využití dvou Merge Point (jeden pro dvě příletové tratě) jako je tomu v Oslu, ale jen pro jednu RWY, by došlo ke snížení vzdálenosti obloukového segmentu od Merge Point (jednalo by se o rozmezí jen dvou letových hladin, např.: FL 80 a FL 90, čemuž by odpovídala vzdálenost 9 až 18 NM). Délka obloukových segmentů by byla kratší a umožňovala by jejich výhodnější natočení v prostoru. Nebyl by však vyřešen konflikt příletu letadel z různých Merge Point na IF a poté zajištěna sekvence na přistání.

I když metoda Merge Point má potenciál na vyřešení konfliktů vznikajících při aplikaci CDA, pro provozní prostředí LKPR není vhodná. Prostor pro vytvoření Merge Point je omezen nejen nynější konstrukcí odletových tratí, ale také výcvikovými prostory, které mohou být během dne aktivní a znemožnit využití CDA.

4.3 Dílčí závěr

Cílem této kapitoly bylo navrzení vhodných opatření, která by umožňovala odstranit konfliktní místa definovaná analýzou v 3. kapitole.

Při uvažování široké aplikace CDA na LKPR je nutné vyřešit několik základních oblastí, v kterých by docházelo ke konfliktu s ostatním letovým provozem. Jednou z nich je vyřešení konfliktu letadel na příletových a odletových tratích. Pro tento problém by se mohlo využít zařazení horizontálního segmentu do příletových tratí, aby letový provoz mohl být bezpečně vykřížen. Toto řešení sice sníží hodnoty letových hladin, z kterých může být zahájen postup CDA, ale pokud by byl zařazen postup CDA i před tento horizontální segment, mohl by být postup CDA zahájen ještě před dosažením vstupního bodu STAR. Poté by následoval horizontální segment z důvodu vykřížení provozu a druhá část CDA k letišti. Bohužel tímto způsobem nelze vyřešit další oblasti vzniku konfliktu. Tento způsob řešení by mohl být využit v hodinách méně náročných na provoz, kdy převažují odlety nad přílety. Nebylo by nebezpečí vzniku konfliktu na příletu a požadovaná přesnost zajištění sekvence na přistání by byla také nižší.

K zajištění rozstupu mezi letadly na příletu a zajištění sekvence na přistání se využívají různé metody. Vzhledem k současnému rozvržení odletových tratí, velikosti TMA Praha a horizontálních hranic vzdušného prostoru České republiky je velice komplikované aplikovat jednu z možných metod. Metoda Path Stretching je vzhledem k velikosti naší republiky nevhodná. Tato metoda pro zvětšení časového rozstupu mezi letadly má smysl pro delší letové úseky, než které jsou uvažovány v blízkosti letiště LKPR.

Jako nejvhodnější by se jevila metoda využívající tzv. Merge Point. Tento postup je například využíván na letišti v Oslu a umožňuje využití CDA i během špičkových hodin letiště. Touto technikou by mohla být odstraněna většina identifikovaných problémů. Bohužel pro naplánování tohoto bodu a obloukových segmentů ale není v okolí LKPR dostatečný prostor. Aplikace Merge Point by sice umožnila zajištění rozstupů mezi letadly a sekvencí na přílet, ale zároveň by došlo k navýšení míst možných vzniků konfliktů s ostatním provozem na odletových tratích, v aktivovaných výcvikových prostorech a střelnicích.

Široká aplikace CDA na LKPR v dnešních provozních podmínkách v okolí letiště a za využívání nynějších technologií není reálná. Jediné možné řešení, které by přicházelo v úvahu, je aplikace CDA v omezené míře a za nižší hustoty letového provozu. Zařazením horizontálního segmentu by byl vyřešen alespoň konflikt s odletovými tratěmi. Postup CDA by mohl být využit u nekonfliktních příletových tratí s odletovými tratěmi v plném rozsahu. V ostatních případech v omezené míře. Podmínkou využití těchto navržených postupů by bylo vydání povolení řídicím letového provozu k zahájení tohoto postupu. Při takto navržených tratích by došlo k odstranění konfliktů s odlety, ale provozní situace by musela být taková, aby nedocházelo k slétnutí provozu na IF a nebyla potřeba zajistit přesnou sekvenci letadel na přistání.

5. Budoucnost při zavádění CDA

Smyslem této kapitoly je představit nové trendy v letectví, které by měly usnadnit zavádění CDA na letištích. Mezi hlavní inovace v letovém provozu by mělo v budoucnosti patřit zavedení konceptu 4D trajektorie. Tento koncept je součástí programu SES a váže se na něj nejen potřeba nových technologií v letadlovém vybavení, ale také vývoj a zlepšení nástrojů pro řízení letového provozu, aby přínosy celého konceptu mohly být využity v plném rozsahu. Dále se váže i na neavionické nástroje, které slouží především pro rychlou a efektivní distribuci informací o letovém provozu v reálném čase, aktuální meteorologické situaci na tratích a například aktivacích TRA/TSA ve vzdušném prostoru.

5.1 4D trajektorie

Jak již bylo zmíněno v úvodu kapitoly, zavádění konceptu 4D trajektorie je součástí projektu SES. Jedná se o jeden z hlavních cílů celého programu, který by měl přinést navýšení kapacity vzdušného prostoru v Evropě a jeho efektivního využití. Ze samotného názvu vyplývá, že se jedná o 3D navigaci, která je rozšířena o čtvrtý rozměr – čas. Výsledkem by měla být přesná informace o 3D poloze letadla v daném čase a přesná znalost trajektorie letadla. Mezi hlavní přínosy konceptu patří:

- efektivní plánování letových tratí,
- efektivní využívání vzdušného prostoru,
- vyšší předvídatelnost a efektivita letového provozu,
- snížení pracovní zátěže na piloty i řízení letového provozu,
- zvýšení bezpečnosti letového provozu (více času na monitorování provozní situace),
- snížení spotřeby paliva a produkovaných emisí letovým provozem,
- při vhodném navržení tratí snížení znečištění životního prostředí hlukem,
- zavádění nových letových postupů (CDA).^[25, 26]

Nevýhody konceptu:

- vysoká cena vývoje technologií (datalink),
- úprava FMS (složitě výpočty poloh s uvažováním různých provozních faktorů, aby byl vypočítaný čas co nejpřesnější),
- úprava pozemních systémů,
- změna ve způsobu řízení letového provozu.

Přesnost přeletu daného bodu v dané výšce by měla dosahovat ± 10 s. Při výpočtu přesného času musí být FMS neustále zásobována aktuálními daty o provozní situaci, meteorologických podmínkách podél letěné trati (rychlost a směr větru v různých výškách) a o jakýchkoliv změnách naplánované trajektorie. Do výpočtu je zahrnuta celé řada proměnných a navíc systém musí neustále komunikovat datovým spojením s pozemními systémy řízení.

Celý koncept by byl přínosem pro všechny fáze letu. Zaměřím se na možné využití pro zavádění CDA na letištích. Pokud by systém umožňoval přesnou znalost polohy a výšky letadla v daném čase na daném bodě na požadované úrovni spolehlivosti, odpadla by většina komplikací, které byly identifikovány v předchozích kapitolách. Postup CDA by mohl být využit v plném rozsahu, protože by docházelo k bezpečnému vykřížení odlétávajícího

a přilétávajícího provozu k letišti. Sekvence na přistání by mohla být zajišťována dostatečně včas a nedocházelo by ke slétnutí provozu na jednom bodě (IAF) v blízkosti letiště.

Koncept 4D trajektorie je v současné době rozdělen na 2 fáze – Initial 4D (i4D) a Full 4D. V současné době probíhá testování i4D, jejímž přínosem je přelet traťového bodu v daném čase. Tento koncept byl již úspěšně několikrát testován. Při testovacím letu z Toulouse do Stockholmu letadlem Airbus A320 na počátku roku 2012 byly využity FMS od společnosti Honeywell a Thales. Odchylna v přeletu traťových bodů se pohybovala v rozmezí ± 10 s od předpokládaného času přeletu bodu vypočítaného FMS. ^[14]

Nyní se pokusím nastínit, jak by vypadalo využití 4D trajektorie pro vytvoření požadované sekvence na přistání. Ve vzdálenosti zhruba 200 NM od letiště určení (vzdálenost odpovídá asi 40 minutám letu) by řídicí letového provozu na letišti určení zahájil proces vyjednávání o příletové trajektorii k letišti pomocí datového spojení s letadlem. V první řadě by došlo k přijetí 3D profilu trajektorie, která by v sobě zahrnovala STAR, proceduru přiblížení k letišti a také daný bod, ke kterému by se měl vztahovat následně přidělený CTA (Controlled Time of Arrival). Po přijetí 3D trajektorie letadlem by FMS vypočítal rozmezí času ETA (Estimated Time of Arrival), v kterém je letadlo schopné být na zvoleném traťovém bodě. Informace o ETA by byla poslána datovým spojem zpět pozemnímu systému. Systém určující příletovou sekvenci AMAN (Arrival Manager) by s uvážením všech provozních aspektů (ostatní přílety k letišti, vytvoření časového okna pro odlet a další) určil CTA v mezích, které je letadlo schopné dosáhnout. Vypočítaný CTA by řídicí letového provozu na letišti určení zkoordinoval také s řídicími letového provozu v sektorech, kterými bude letadlo ještě prolétat, a předal informaci o CTA zpět letadlu. Při akceptování CTA a jeho dodržení by byl zajištěn přílet na letiště v požadované sekvenci s požadovanou přesností. Zda by byl ve fázi přiblížení zahrnut postup CDA, by záleželo na zvolené vertikální trajektorii FMS daného letadla. ^[14]

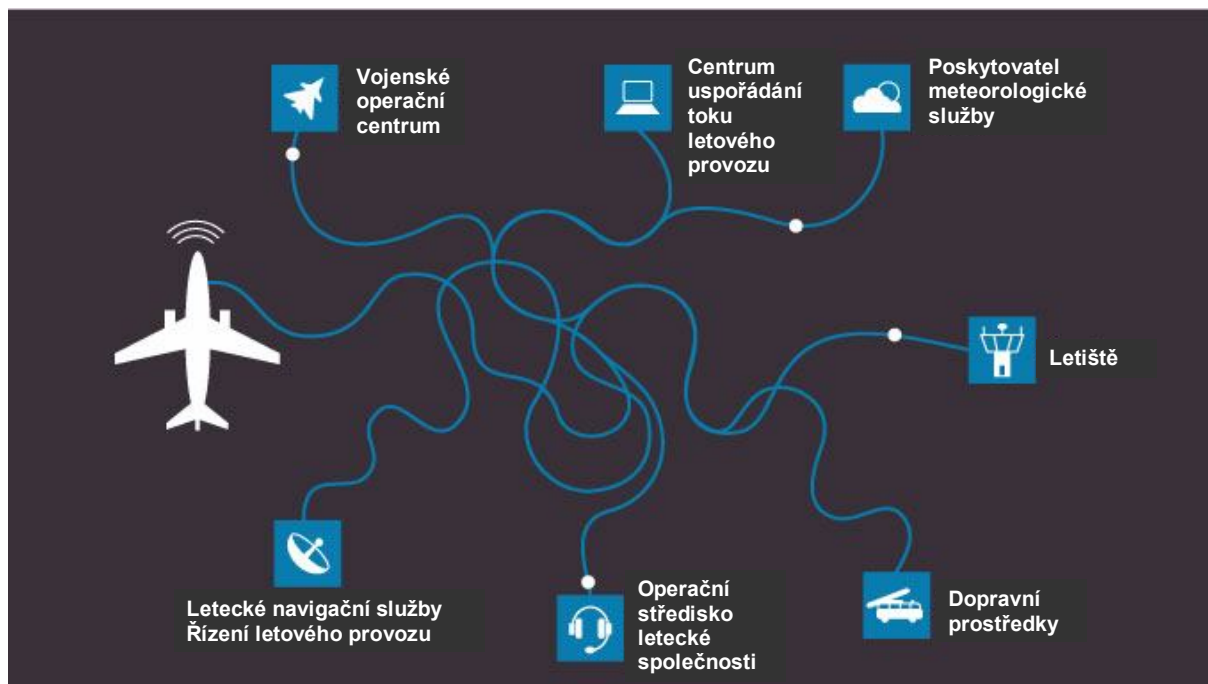
Aby vše mohlo takto fungovat, je zapotřebí integrovat nejen palubní vybavení letadel, ale také jednotlivých stanovišť letového provozu, aby mohly výhody 4D trajektorie využívat. Nejedná se tedy pouze o vyřešení funkčnosti systému na palubách letadel a s několika stanovišti řízení letového provozu, ale jedná se o rozsáhlý koncept, který v sobě zahrnuje integraci používaných systémů ve všech oblastech, které jsou zapojeny do celoevropského systému řízení letového provozu. Proto je vývoj celého konceptu velice náročný a nákladný.

5.1.1 Systém řízení a sdílení informací

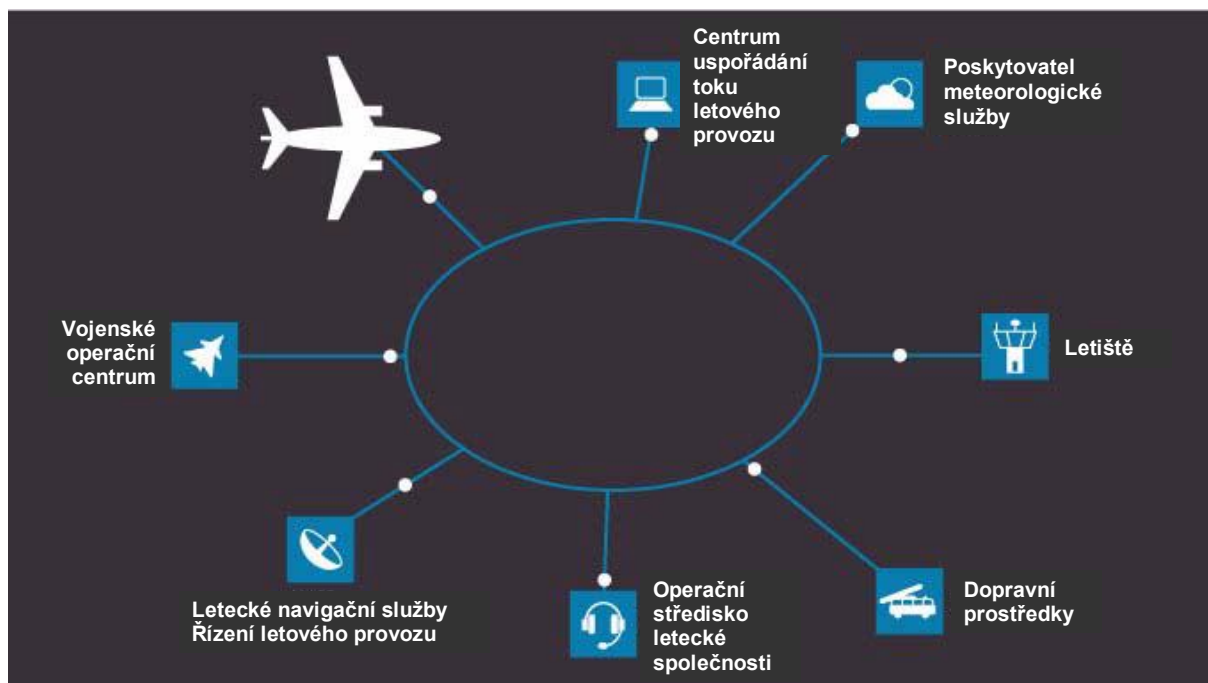
K celkovému efektivnímu fungování procesu letecké přepravy je a zejména v budoucnosti bude životně důležité pracovat s neaktuálnějšími daty. K distribuci požadovaných informací ve správném čase na správném místě by měl sloužit systém SWIM (System – Wide Information Management). Jeho hlavním úkolem je distribuce informací pro všechny zúčastněné subjekty podílející se na tvorbě leteckého provozu. Pro ně je aktuální dostupnost informací zásadní při tvorbě rozhodovacího a plánovacího procesu. Centrální síť informačního systému by měla pracovat v zabezpečeném prostředí založeném na jednoznačných informacích, které jsou velice důležité nejen pro všechny subjekty, ale také pro zavedení provozu schopného konceptu 4D trajektorie. Pro tento koncept je sdílení informací mezi všemi účastníky vitálním požadavkem nejen pro jeho uskutečnění, ale také využití všech výhod, které z něj pro letový provoz plynou.

Filozofií SWIM je nepřetržité sdílení požadovaných informací, jež musí být dostupné pro kohokoliv a kdykoliv, pokud je zrovna vyžaduje. Na obrázku 5.1 je naznačen nynější průběh výměny a sdílení informací. Na obrázku 5.2 je představen systém sdílení informací po zavedení systému SWIM. Z obrázků jasně vyplývá, jak je nynější systém zkosnatělý

a s informacemi není nakládáno s dostatečnou efektivitou, což se v provozu může projevit špatným rozhodnutím. Taková situace může na sebe nabalit další chyby nebo vyústit v komplikace plynulého toku letového provozu (zpoždění), v krajním případě může dojít ke kolapsu celého systému.



Obr. 5.1 Nynější systém sdílení a výměny informací ^[15]



Obr. 5.2 Sdílení a výměna informací s využitím systému SWIM ^[15]

Systém SWIM je nástrojem pro všechny uživatele vzdušného prostoru a pro všechny, kteří se podílejí na tvorbě letového provozu a jeho zabezpečení. Včasná znalost informací je nutná pro správné rozhodování a plánování procesů v letovém provozu.

5.2 Nástroje pro řídicí letového provozu

Tato podkapitola je zaměřena na představení několika nástrojů, které jsou využívány řídicími letového provozu na různých pozicích na letišti. Některé nástroje jsou využívány přibližovací službou řízení zejména pro vytváření požadované sekvence na přistání, další nástroje poté letištní službou řízení například k určení efektivního času spuštění motorů před zahájením poježdění, aby byl čas strávený na zemi se spuštěnými motory co nejkratší. Nebo také k efektivnímu řízení pohybů letadel na zemi zejména ve špičkových hodinách letiště, aby nedocházelo k zácpám na letištních pohybových plochách. V současné době se využívá celá řada těchto nástrojů. Zaměřím se na ty, které jsou zmiňovány organizací EUROCONTROL v souvislosti s realizací SES. Některé byly zmíněny v předešlé podkapitole v rámci vysvětlení využití 4D trajektorie pro CDA.

- **AMAN (Arrival Manager)**
AMAN je primárně navržen k vytváření automatizované sekvence přilétávajících letadel k letišti určení. Pracuje neustále a přepočítává příletové časy k letišti na základě aktuálních provozních podmínek v okolí letiště, požadované časové sekvence v závislosti na požadavcích pro odlétávající provoz, využívané RWY a vytvoření požadovaného rozmístění letadel v TMA letiště. Mezi jeho hlavní přínosy patří zvýšení kapacity vzdušného prostoru v okolí letiště a jeho efektivní využívání. Dále předvídatelnost počtu příletů k letišti v daném čase a snížení počtu vyčkávání v blízkosti letiště v malých letových výškách. V neposlední řadě efektivní využívání tohoto nástroje vede ke snížení spotřeby paliva letadly a snížení zatížení přírodního prostředí hlukem. ^[25, 26]
Tento nástroj pro řídicí letového provozu zaujímá významnou pozici v rámci programu SESAR a NextGen. V těchto programech je snahou, aby distribuce informací o požadovaných časech při přiblížení k letišti byla zajištěna co nejdříve v prvních fázích zahájení letu (CTA). ^[25, 26]
- **DMAN (Departure Manager)**
Nástroj slouží pro plánování, zlepšení toku letového provozu odlétávajícího z letiště a zvýšení předvídatelnosti provozní situace v okolí letiště. DMAN vypočítává TTOT (Target Take Off Time) a TSAT (Target Startup Approval Time). Při určování zmíněných časů bere v úvahu celou řadu faktorů a komunikuje s dalšími systémy využívanými na letišti. Hlavním cílem je efektivní využití RWY a snížení počtu vyčkávání na křižovatkách poježděcích drah nebo RWY. Informace o vytvořené sekvenci na odletu jsou velice důležité pro další subjekty na letišti, které se podílejí na vytváření procesu letecké přepravy (technické odbavení letadel, cestujících, letecké společnosti, řízení letového provozu) a mohou svoji práci následně také zefektivnit. ^[25, 26]
- **A – SMGCS (Advanced Surface Movement Guidance and Control System)**
Tento nástroj slouží k efektivnímu řízení pohybů letadel a ostatních pohybujících se prostředků na provozních a odbavovacích plochách letiště s udržení požadované bezpečnosti. Daný systém bere v úvahu požadavky na vytváření plynulého toku v závislosti na skladbě pohybových ploch daného letiště a různých podmínek viditelnosti na letišti. Mezi jeho základní funkce patří:
 - vytváření přehledové situace na letišti,
 - řízení prostředků na pohybových plochách,
 - plánování pohybů,
 - vedení po zvolené trati.

Za účelem zvýšení bezpečnosti je nástroj opatřen výstražným systémem upozorňujícím na případné vznikající konflikty. [25, 26]

5.3 Dílčí závěr

Tato kapitola byla zaměřena na představení možného způsobu zavádění CDA v budoucnosti. A to na základě využití nových technologií, jež by vedly k zjednodušení situace na všech letištích. Vyvíjený koncept 4D trajektorie má zásadní přednosti, které by v budoucnosti vedly k usnadnění zavádění CDA na všech letištích. Mezi jeho hlavní rysy patří přesná znalost 3D polohy v čase. Takto vypočítaná poloha bude určena s požadovanou přesností a bude moci být brána jako relevantní informace pro řízení letového provozu. Koncept 4D trajektorie není zaměřený jen na přiblížení k letišti, ale jedná se o komplexní koncept, který v sobě zahrnuje všechny fáze letu. Pro jeho správné fungování a maximální využitelnost je velice důležité zajistit efektivní výměnu a sdílení informací pro všechny zainteresované subjekty v letovém provozu. Na to navazuje vývoj nového systému distribuce a sdílení informací SWIM, který v sobě zahrnuje informace o provozních podmínkách na daných letištích, meteorologické informace podél letových tratí, využívání vzdušného prostoru a informace z mnoha dalších oblastí. Pokud FMS letadla bude neustále zásobována aktuálními informacemi, které zásadním způsobem ovlivňují let po zvolené trati, budou vypočítané časy přeletů traťových bodů a průletů letových hladin určeny s dostatečnou přesností. Tyto informace jsou potom využitelné pro další systémy a nástroje, které jsou využívány řídicími letového provozu k řízení letadel nejen ve vzduchu v okolí letiště, ale také na zemi. Koncept 4D trajektorie by umožňoval naplánování přistávací sekvence téměř po vzletu letadla z letiště a mohla by být zajištěná dekonflikce provozu na přiletu k letišti a vytvoření dostatečných časových intervalů pro odlety z letiště.

Řídicí letového provozu při své práci využívají nástroje, které s uvážením všech provozních aspektů a známých informací určují například časy pro spouštění motorů, zahájení pojíždění a přiletu na letiště. Snahou těchto nástrojů je docílit, aby vzdušný prostor v TMA letiště, kapacita pohybových ploch a RWY byly využívány s co největší efektivitou a bylo zabráněno vzniku zpoždění a zácp. Tyto nástroje jsou náročné na aktuálnost informací, aby bylo docíleno co nejvýhodnějších výsledků. Budoucnost řízení letového provozu v Evropě by měla být založena na co nejefektivnějším a účinném využívání, distribuci a sdílení informací. Jen tímto způsobem může být zajištěna požadovaná kapacita vzdušného prostoru, který musí čelit neustálému nárůstu letového provozu, s udržením dostatečné úrovně bezpečnosti.

6. Paralelní dráha na letišti LKPR

Poslední kapitola této práce je zaměřena na nastínění přínosu vybudování paralelní dráhy na LKPR. Nový dráhový systém by i přes nevyužití inovací zmíněných v 5. kapitole umožňoval efektivní zavedení CDA na LKPR. Vhodným navržením koncových částí STAR a využitím doporučení z *ICAO Doc 9931* by mohla být zajištěna bezpečná dekonflikce mezi provozem v okolí letiště. Výsledkem by mělo být nabízení CDA i ve špičkových hodinách letiště bez rozsáhlého dopadu na propustnost vzdušného prostoru v okolí letiště.

S vybudování paralelní dráhy na LKPR se počítalo již při stavbě nynější RWY06/24. Podle informací uvedených na internetových stránkách letiště by měla být paralelní RWY zprovozněna během let 2018 a 2019. Ve špičkových hodinách se využití nynějšího dráhového systému dostává na hranici své kapacity a druhá RWY by umožnila zvýšení kapacity letiště. Další výhodou, která by ze zprovoznění paralelní dráhy plynula, by bylo možné zavedení CDA i ve špičkových hodinách. Nově vzniklý dráhový systém by umožnil vyřešení konfliktů na příletu, které byly identifikovány v 3. kapitole této práce.

6.1 Návrh systému příletových tratí

Vhodným využitím metody Merge Point by došlo nejen k zamezení vznikání konfliktů mezi letadly na příletu k LKPR, ale také k zajištění požadované sekvence na přistání. Tato metoda je v současné době úspěšně využívána na některých evropských letištích. Pro LKPR by bylo výhodné vytvořit dva Merge Point, které by odpovídaly svojí pozicí IAF. Možný návrh příletových tratí s využitím Merge Point je uvedený na obrázku 6.1. RWY06/24 je využívána přednostně ve směru 24, pokud to provozní situace dovoluje. Z tohoto důvodu se zaměřím na popsání systémů příletových tratí pouze pro RWY24L/R. Předpokladem k takovému řešení je, že obě RWY by byly využívány jak pro vzlety, tak pro přistání.

Na RWY24R by byly dle uvedeného návrhu primárně řazeny přílety ze STAR GOLOP a LOMKI. Na RWY24L by byly primárně řazeny přílety ze STAR GOSEK a VLM. Takovým řešením by odpadl konflikt sletu všech 4 příletových tratí na IF, jak by tomu bylo nyní při příletu na jednu RWY. Každá RWY24L/R by měla svůj IF. Příletový provoz na LKPR by byl rozdělen na dvě skupiny mezi dvě RWY.

Konflikt mezi příletovými tratěmi na daný Merge Point by byl vyřešen vertikálním rozstupem 1000 ft. Při příletu na obloukový segment by letadla z příletové tratě LOMKI měla FL 100 a z příletové tratě GOLOP FL 90. Pro přílety z jihu a jihovýchodu by letadla přilétávající po příletové trati GOSEK musela mít na vstupu do obloukového segmentu FL 90 a po příletové trati VLM FL 100. Tímto způsobem by byl vyřešen konflikt mezi letadly letícími na daný Merge Point po obloukových segmentech. Letadla vstupující do obloukového segmentu příletových tratí by musela být připravena na to, že mohou být kdykoliv vektorována přímo na Merge Point. Pokud by to provozní situace umožňovala, pokračovala by přímo k Merge Point od vstupních bodů daných STAR a letu po obloukovém segmentu by se vyhnula. Po otočení k Merge Point by letadla mohla zahájit CDA z dané FL do nadmořské výšky 5000 ft. Během klesání by měla letět maximálně IAS 220 kt.

Vzdálenost z obloukového segmentu k Merge Point je po celé délce oblouku stejná. To umožňuje FMS jednotlivých letadel vypočítat nejvýhodnější ToD, aby byla dosažena stanovená nadmořská výška na IF a zároveň dodrženo rychlostní omezení. Délka letěná po obloukovém segmentu by byla co nejkratší. Let po obloukovém segmentu by byl využíván pouze k vytvoření dostatečných rozstupů mezi letadly při letu z obloukového segmentu k Merge Point a pro vytvoření časového rozstupu mezi letadly na přistání. Tím, že by bylo

publikované rychlostní omezení, by čas strávený na trati po otočení z obloukového segmentu a nalétnutí IF byl pro všechna letadla téměř stejný. Zda by na tomto úseku příletové tratě pilot využil techniku ustáleného klesání, by bylo na jeho rozhodnutí. Takto by došlo i k dekonfliktaci letadel na příletu využívajících CDA nebo klasický způsob přiblížení. S tím, že rychlostní a výšková omezení by byla pro obě skupiny provozu stejná.

Rozdělení příletů na dvě skupiny dle využití RWY na přistání, jak bylo uvedeno výše, by nemuselo být striktně dodržováno. Pokud by bylo nutné provést přistání na druhou RWY z důvodu odletů a provozní situace by to umožňovala, letadla by po minutí Merge Point pokračovala na vzdálenější IF pro druhou RWY.

Traťové body příletových tratí:

- GOLOP
GOLOP – PR211 – PR212 – PR213 – PR531 (IAF)

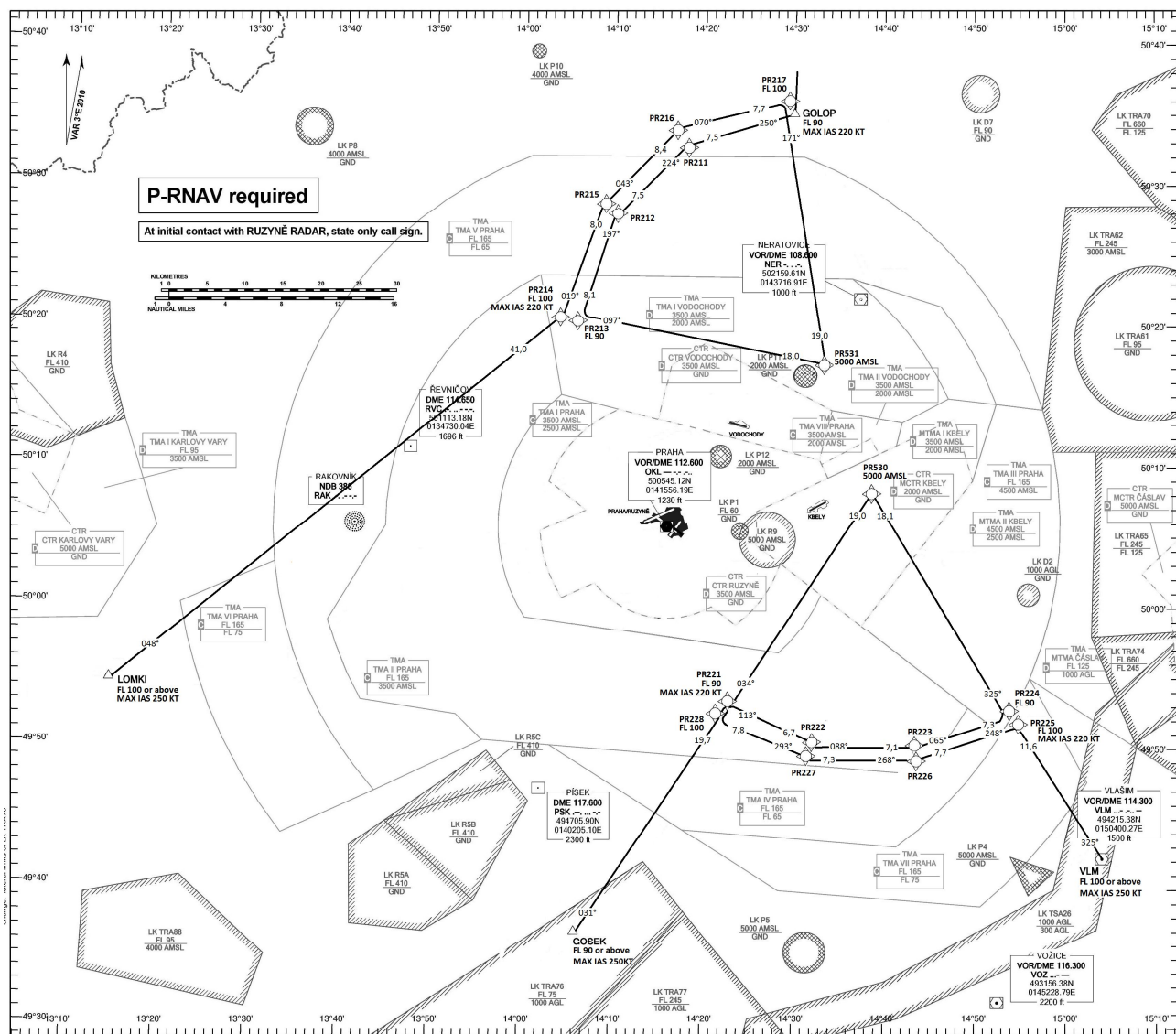
- LOMKI
LOMKI – PR214 – PR215 – PR216 – PR217 – PR531 (IAF)

- GOSEK
GOSEK – PR221 – PR222 – PR223 – PR224 – PR530 (IAF)

- VLM
VLM – PR225 – PR226 – PR227 – PR228 – PR530 (IAF)

Traťový bod	Zeměpisné souřadnice
GOLOP	50 35 08,74N 014 29 44,63E
GOSEK	49 37 01,25N 013 34 08,62E
LOMKI	49 54 33,61N 013 14 28,40E
VLM	49 42 15,38N 015 04 00,27E
PR211	50 32 56,40N 014 18 30,00E
PR212	50 27 57,60N 014 09 53,40E
PR213	50 20 21,00N 014 05 26,40E
PR214	50 20 34,80N 014 03 46,80E
PR215	50 28 12,05N 014 08 18,60E
PR216	50 33 51,03N 014 17 47,41E
PR217	50 36 03,00N 014 29 19,80E
PR221	49 53 23,49N 014 23 03,00E
PR222	49 50 21,60N 014 32 16,80E
PR223	49 50 53,20N 014 43 26,40E
PR224	49 52 45,15N 014 53 57,12E
PR225	49 52 00,60N 014 54 33,00E
PR226	49 49 32,40N 014 43 20,40E
PR227	49 49 30,20N 014 32 01,20E
PR228	49 53 09,00N 014 21 15,60E
PR530 (IAF)	50 17 15,97N 014 32 32,54E
PR531 (IAF)	50 08 11,56N 014 39 03,31E

Tab. 6.1 Traťové body



Obr. 6.1 Merge Point Rwy24

Uvedený systém příletových tratí využívající Merge Point neuvažuje rozvržení nynějších odletových tratí. Tratě pro odlet by musely být navrženy v souladu s příletovými tratěmi a také dle nově vzniklého dráhového systému.

6.2 Dílčí závěr

Zprovoznění paralelní dráhy na LKPR by umožnilo vhodným využitím metody Merge Point nabízet CDA ve špičkových hodinách jako jeden ze způsobů přiblížení k letišti. Dráhový systém s paralelními dráhami umožňuje rozdělit přilétávající provoz na dvě skupiny, pokud by byly obě RWY využívány pro vzlety a přistání. Umístěním Merge Point na místa, která by odpovídala pozicím IAF příletových tratí, by vedlo k vyřešení konfliktních situací, které byly jmenovány ve 3. kapitole této práce. Mezi hlavní výhody metody Merge Point patří výšková dekonflikce provozu na různých příletových tratích, udržení předepsaných podélných rozstupů mezi provozem letícím k IAF při dodržení požadované sekvence na přistání. V této kapitole byl představen návrh pro RWY24, protože tento směr RWY je preferován, pokud to provozní situace dovoluje. Analogicky by byly vytvořené dva Merge Point na pozicích IAF pro směr RWY06.

Budoucnost zavádění CDA na LKPR závisí na rychlosti zavádění nových koncepcí a technologií do provozu. Při dostavění paralelní dráhy by mohlo být nabízeno CDA i při využití dosavadních technologií používaných v letectví při zachování stejné propustnosti vzdušného prostoru a úrovně bezpečnosti.

Závěr

Cílem práce bylo představení postupu CDA při přiblížení k letišti a zhodnocení jeho dopadu na kapacitu vzdušného prostoru. První část práce byla věnována obecným informacím a doporučením, které se týkají problematiky CDA. V další části textu byl popsán současný stav a iniciativa o implementaci postupu na evropských letištích. Stěžejním přínosem práce je podrobná analýza dopadu CDA na kapacitu a propustnost vzdušného prostoru v provozních podmínkách mezinárodního letiště Praha – Ruzyně. Na základě analýzy byly identifikovány kritické oblasti, pro které byly v následujících kapitolách uvedeny možné způsoby řešení s uvážením dnešních provozních podmínek. Dále byl nastíněn budoucí přínos a výhody spojené s implementací konceptu 4D trajektorie. Poslední část práce je věnována návrhu systému příletových tratí po vybudování paralelní vzletové a přistávací dráhy na LKPR.

CDA má nepopíratelný kladný dopad na ekonomiku přiblížení k letišti. S jeho využitím je možné snížit spotřebu paliva o desítky kilogramů na jeden přílet k letišti. Z nižší spotřeby pramení nižší objem vyprodukovaných emisí a snížení nákladů na leteckou dopravu. Klesání k letišti je prováděno se sníženými otáčkami motorů (volnoběžné otáčky), což také vede ke snížení znečištění hlukem v okolí letiště. Tyto pozitivní dopady byly prokázány nespočtem testovacích letů. V současné době je snaha o širokou aplikaci CDA na evropských letištích, alespoň z nižších letových hladin, pokud provoz v okolí letiště neumožňuje zahájit klesání již z cestovní hladiny. Tato snaha je podpořena mezinárodními organizacemi, které se také podílí na vývoji nových technologií, jež by měly vést k novému systému řízení letového provozu v Evropě a umožnit efektivní využívání nových letových postupů včetně CDA. Bohužel aplikace CDA, zejména na vytižených evropských letištích, s sebou nese celou řadu komplikací. To má za následek využívání tohoto postupu pouze v provozních hodinách mimo špičku letiště nebo v nočních hodinách. Na workshopu věnovaném CDA v roce 2013 bylo prezentováno, že postup CDA je alespoň částečně nabízen na 117 evropských letištích. ^[25]

Pro podrobný rozbor dopadu CDA na LKPR byly využity příletové tratě pro RWY24, které byly navrženy pro testování postupu v roce 2011. Na základě těchto tratí byly navrženy příletové tratě i pro RWY06. Profil tratí v obou případech vyhovuje doporučením pro zavádění CDA uvedených v *ICAO Doc 9931*. Vzniklý systém příletových tratí byl podroben rozsáhlé analýze, na základě které byly definovány následující hlavní konfliktní oblasti:

- konflikt mezi provozem na příletových a odletových tratích (bezpečné vykřižování provozu),
- konflikt mezi příletovým provozem
 - využívající stejnou příletovou trať (zajištění rozstupu mezi letadly),
 - využívající různé příletové tratě (slet na společném traťovém bodě – IF),
- zajištění sekvence na přistání s požadovanou přesností (vytvoření prostoru pro odlétávající letadla z letiště).

Z uvážením výše jmenovaných oblastí je rozsáhlé zavedení CDA (ve špičkových hodinách) na LKPR v dnešních provozních podmínkách nemožné. Největší komplikace pramení z nemožnosti zajištění rozstupů s dostatečnou úrovní bezpečnosti a nejistoty o polohách letadel na přiblížení k letišti v čase. Implementace postupu by vedla nejen k neefektivnímu využívání vzdušného prostoru TMA Praha, vzletových a přistávacích drah, ale také ke vzniku zpoždění z důvodu vyčkávání v blízkosti letiště ve vzduchu nebo na zemi před vzletem. To by bylo především zapříčiněno nemožností zajištění požadované sekvence na přistání. V současných podmínkách s uvážením dnešního systému odletových tratí a hustotou provozu na letišti by zahrnutí postupu CDA jako hlavního způsobu přiblížení k letišti způsobil obrovské komplikace v zajištění plynulosti letového provozu v okolí letiště.

V dalších kapitolách práce byly představeny různé metody, které jsou na některých letištích využívány k odstranění jednotlivých identifikovaných kritických oblastí. Z důvodu rozvržení vzdušného prostoru v okolí TMA Praha a její samotné velikosti nejsou nabízená řešení pro LKPR uplatnitelná. Jediné možné řešení, které by v současné době mohlo být bráno za využitelné, je využívání postupu CDA pouze v nočních hodinách, jako tomu bylo při testování postupu v roce 2011. Pro přílety na LKPR by mohly být využity příletové tratě ze samotného testování, které by mohly být rozšířeny o tratě navržené v rámci práce pro RWY06. Systém zmíněných tratí byl ve 4. kapitole rozšířen a vertikální omezení, která snižují délku trajektorie umožňující aplikaci CDA, ale zajišťují bezpečnou dekonflikci s odletovými tratěmi. Použitelnost systému navržených omezení pro příletové a odletové tratě byl ověřen různými kategoriemi letadel v simulačním softwaru RNAV Validation Tool.

Závěrečná část diplomové práce byla věnována aplikaci CDA v budoucnosti. A to jak s uvážením zavádění nových technologií do letového provozu, tak po vybudování paralelní vzletové a přistávací dráhy na LKPR s využitím letových systémů používaných v dnešní době. Koncept 4D trajektorie, který by měl být v budoucnosti realizován, by měl být schopen na základě své charakteristiky představené v 5. kapitole práce odstranit a vyřešit oblasti vzniku konfliktů. Hlavním přínosem tohoto konceptu bude znalost 3D polohy letadla v čase s dostatečnou přesností a vysokou mírou pravděpodobnosti, aby byla zajištěna využitelnost těchto informací. Dopad aplikace 4D trajektorie by měl mít pozitivní dopad na všechny oblasti plánování a řízení procesu letecké přepravy. Aplikací CDA na LKPR by byla významně ulehčena zprovoznění paralelní vzletové a přistávací dráhy v následujících letech. V 6. kapitole práce byl navržen a popsán systém příletových tratí s vhodným využitím metody Merge Point. Předpokladem k fungování navrženého postupu je využívání obou drah ke vzletům i přistáním. V rámci uvedeného postupu by byla vyřešena všechna místa vzniku konfliktu, což by umožňovalo využívání CDA nejen v nočních hodinách, ale i ve špičkovém provozu během dne.

CDA má jistě svoji budoucnost a nezastupitelné místo pro zvýšení efektivity, ekonomičnosti a snížení dopadu letového provozu na životní prostředí ve fázi letu přiblížení k letišti. Nicméně v současné době vede ke komplikovanosti letového provozu zvláště na vytížených letištích a v oblastech s vysokou hustotou provozu. Široká aplikace CDA na letišti LKPR v dnešní době není možná. Po zavedení nových technologií nebo zprovoznění paralelní dráhy se pravděpodobnost úspěšného zavedení CDA výrazně zvyšuje. V současné době by mohl být postup využíván jen v období s nízkou hustotou provozu, ale i tak za cenu vznikajících konfliktů.

Pro vytvoření nového systému příletových a odletových tratí pro zavedení CDA na LKPR v budoucnosti by bylo nutné brát v úvahu všechny zmiňované oblasti konfliktů uvedené v této práci. Dále by bylo nutné uvažovat i o novém rozvržení TMA Praha, vytvoření zcela nových postupů a koordinačních dohod mezi spolupracujícími sektory a stanovišti ATC nejen v rámci České republiky, ale i v zahraničí. Do procesu plánování a zavádění CDA by bylo nutné zahrnout představitele jednotlivých stanovišť ATC spolu s dalšími představiteli podílejícími se na vytváření toku letového provozu.

Seznam použité literatury

- [1] ŽIHLA, Zdeněk. *Provozování podniků letecké dopravy a letišť*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010, 301 s. ISBN 978-80-7204-677-5.
- [2] SOLDÁN, Vladimír. *Letové postupy a provoz letadel*. 1. vyd. Jeneč: Letecká informační služba Řízení letového provozu České republiky, 2007, 214 s. ISBN 978-80-239-8595-5.
- [3] ORGANIZATION, International Civil Aviation. *Continuous descent operations (CDO) manual*. 1st ed. Montréal: International Civil Aviation Organization, 2010. ISBN 978-929-2316-402.
- [4] IATA, EUROCONTROL, CANSO. *Flight Efficiency Plan: Fuel and emissions savings*. 2008, 21 s. [vid. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/nm/airspace/airspace-flight-efficiency-plan-aug2008.pdf>
- [5] IATA, CANSO, ACI - Europe, EUROCONTROL. *European Joint Industry - CDA Action Plan*. 2009, 7 s. [vid. 2014-05-20]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/publications/european-joint-industry-cda-action-plan>
- [6] EUROCONTROL. *Continuous Descent: A guide to implementing Continuous Descent*. 2011, 12 s. [vid. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/2011-cd-brochure-web.pdf>
- [7] PILDO LABS., the Air Navigation Services of the Czech Republic and Czech Airlines. *Reduction of Emissions using CDAs in TMA in Czech Republic: The REACT-CR project – PHASE 2 FINAL REPORT*. 1.1. 2011. [vid. 2014-05-20]. Dostupné z: http://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/AIRE_-_REACT.pdf?issuusl=ignore
- [8] Evropská Unie. Nařízení Rady (ES) č.219/2007: o založení společného podniku na vytvoření evropského systému nové generace pro uspořádání letového provozu (SESAR). In: 2007, 219/2007.
- [9] EUROPEAN UNION, EUROCONTROL. *European Air Traffic Management Master Plan: SESAR Master Plan*. 1. vyd. 2008, 122 s. [vid. 2014-05-20]. Dostupné z: www.atmmasterplan.eu
- [10] EUROCONTROL. *European Network Operations Plan 2013 - 2015*. 2013, 483 s. [vid. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.eurocontrol.int/documents/european-network-operations-plan-2013-2015>
- [11] SESAR JOINT UNDERTAKING. *Atlantic Interoperability Initiative to Reduce Emissions (AIRE): Summary of results 2010/2011*. Brussels, 2012. ISBN 978-92-9216-006-7. [vid. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.sesarju.eu/news-press/documents/aire-brochure-1032>

- [12] BELOBABA, Peter, Amedeo R ODONI a Cynthia BARNHART. *The global airline industry*. Chichester, West Sussex, U.K.: Wiley, 2009. ISBN 04-707-4077-9.
- [13] SHRESTA, Sanjiv, Dejan NESKOVIC, Stephen S. WILLIAMS. *Analysis of Continuous Descent Benefits and Impacts During Daytime Operations*. Eight USA/Europe ATM R&D Seminar, Napa, CA, USA, 2009. [vid. 2014-05-20].
Dostupné z:
http://atm2003.eurocontrol.fr/8th-seminar-united-states-june-2009/papers/paper_132
- [14] MUTUEL, Laurence H. THALES AVIONICS, Inc. Seattle, WA, USA. *Initial 4D Trajectory Management Concept Evaluation*. Tenth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar, 2013. [vid. 2014-05-20].
Dostupné z:
http://www.atmseminar.org/seminarContent/seminar10/papers/249-Mutuel_0126130707-Final-
- [15] SESAR JOINT UNDERTAKING. *SESAR factsheet: System Wide Information Management (SWIM)*. Brussels, 2011. [vid. 2014-05-20]. Dostupné z:
<http://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/factsheet-swim.pdf>
- [16] Česká republika. Letecký předpis L 11: Služba řízení letového provozu, letová informační služba, pohotovostní služba. In: Ministerstvo dopravy, Letecká informační služba, 2000, jednací číslo: 25344/99-220. Dostupné z: lis.rlp.cz
- [17] Česká republika. Letecký předpis L 4444: Postupy pro letové navigační služby, uspořádání letového provozu. In: Ministerstvo dopravy, Letecká informační služba, 2011, jednací číslo: 439/2011-220-SP/1. Dostupné z: lis.rlp.cz
- [18] AIP České republiky, *Letová informační příručka*. Řízení letového provozu ČR, s.p. – Letecká informační služba, 2014. Dostupné z: lis.rlp.cz
- [19] VOSECKÝ, Slavomír. *Radionavigace (062 00)*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 236 s. ISBN 80-7204-448-6.

Internetové zdroje:

- [20] Evropská komise [vid. 2014-04-01]
Dostupné z: ec.europa.eu
- [21] Norway AIP – Aeronautical information publication. [vid. 2014-03-30]
Dostupné z: www.ippc.no
- [22] Letiště Praha. [vid. 2014-03-10]
Dostupné z: www.prg.aero
- [23] SkyVector: Aeronautical Charts. [vid. 2014-05-20]
Dostupné z: skyvector.com
- [24] SESAR Joint Undertaking. [vid. 2014-05-20]
Dostupné z: www.sesarju.eu

- [25] EUROCONTROL. [vid. 2014-05-10]
Dostupné z: www.eurocontrol.int
- [26] SKYbrary. [vid. 2014-05-10]
Dostupné z: www.skybrary.aero

Seznam použitých zkratk

ACC	Area control centre or area control	Oblastní středisko řízení nebo oblastní služba řízení
A – SMGCS	Advanced surface movement guidance and control system	Pokročilý systém k vedení a řízení pohybů na zemi
ACI Europe	Airports Council International Europe	Mezinárodní rady letišť Evropy
AIP	Aeronautical information publication	Letecká informační příručka
AIRE	Atlantic Interoperability Initiative to Reduce Emissions	Jednotná evropsko-americká iniciativa ke snížení emisí
AMAN	Arrival manager	System řízení přiletů
AMSL	Above mean sea level	Nad střední hladinou moře
ANSP	Air Navigation Service Provider	Poskytovatel leteckých navigačních služeb
APP	Approach control office or approach control or approach control service	Přibližovací stanoviště řízení nebo řízení přiblížení nebo přibližovací služba řízení
ASDA	Accelerate – stop distance available	Použitelná délka přerušeno vzletu
ATC	Air traffic control (in general)	Řízení letového provozu (všeobecně)
ATS	Air traffic services	Letové provozní služby
B –RNAV	Basic area navigation	Základní prostorová navigace
CANSO	Civil Air Navigation Services Organisation	Civilní organizace leteckých navigačních služeb
CAT	Category	Kategorie
CDA	Continuous descent approach	Přiblížení ustáleným klesáním
CDM	Collaborative decision making	System společného rozhodnutí
CDO	Continuous descent operation	Operace využívající ustálené klesání
CPDLC	Controller – pilot data link communications	Komunikace datovým spojem mezi řídícím a pilotem
CTA	Control area	Řízená oblast
CTA	Controlled time of arrival	Řízený čas přiletu

CTR	Control zone	Řízený okrsek
DMAN	Departure manager	System řízení odletů
ECAC	European Civil Aviation Conference	Evropská konference pro civilní letectví
EIA	Environmental Impact Assessment	Posuzování vlivů na životní prostředí
ETA	Estimated time of arrival	Předpokládaný čas příletu
EUROCONTROL	European Organisation for the Safety of Air Navigation	Evropská organizace pro bezpečnost leteckého provozu
FAB	Functional airspace block	Funkční blok vzdušného prostoru
FAF	Final approach fix	Fix konečného přiblížení
FAP	Final approach point	Bod konečného přiblížení
FL	Flight level	Letová hladina
FMS	Flight management system	System pro řízení a optimalizaci letu
FT	Feet (dimensional unit)	Stopa (měrová jednotka)
IAF	Initial approach fix	Fix počátečního přiblížení
IAS	Indicated air speed	Indikovaná vzdušná rychlost
IATA	International Air Transport Association	Mezinárodní sdružení leteckých dopravců
ICAO	International Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
IFR	Instrument flight rules	Pravidla pro let podle přístrojů
ILS	Instrument landing system	System pro přesné přiblížení a přistání
KT	Knots	Knot, uzel
LDA	Landing distance available	Použitelná délka pro přistání
LNAV	Lateral navigation	Příčná navigace
NM	Nautical miles	Námořní míle
NM	Network Manager	Správce sítě
P	Prohibited area	Zakázaný prostor
P – RNAV	Precision Area Navigation	Přesná prostorová navigace
R	Restricted area	Omezený prostor

REACT – CR	Reduction of emissions using CDA's in TMA in Czech Republic	Projekt na snížení emisí v TMA v České republice pomocí přiblížení využívající techniku CDA
RNAV	Area navigation	Prostorová navigace
RWY	Runway	Dráha
SES	Single European Sky	Jednotné evropské nebe
SID	Standard instrument departure	Standardní přístrojový odlet
STAR	Standard instrument arrival	Standardní přístrojový přilet
SWIM	System – wide information management	System řízení informací
THR	Threshold	Práh dráhy
TMA	Terminal control area	Koncová řízená oblast
TOBT	Target off – block time	Čas zahájení pojíždění
ToD	Top of descent	Vrchol (začátek) klesání
TODA	Take – off distance available	Použitelná délka vzletu
TORA	Take – off run available	Použitelná délka rozjezdu
TRA	Temporary reserved airspace	Dočasně rezervovaný vzdušný prostor
TSA	Temporary Segregated Area	Dočasně vyhrazený vzdušný prostor
TWR	Aerodrome control tower or aerodrome control	Letištní řídicí věž nebo letištní řízení
UTC	Coordinated Universal Time	Světový koordinovaný čas
VFR	Visual flight rules	Pravidla pro let za viditelnosti
VNAV	Vertical navigation	Vertikální navigace

Seznam příloh

- Příloha č. 1 Vývojový diagram implementace CDA ^[6]
- Příloha č. 2 Stav CDA a plánované úkoly pro některá evropská letiště ^[10]
- Příloha č. 3 Funkční bloky vzdušného prostoru (FAB) ^[25]
- Příloha č. 4 Letištní mapa LKPR ^[18]
- Příloha č. 5 CTR Ruzyně a TMA Praha ^[18]
- Příloha č. 6 Vzdušné prostory ATS – poskytované služby a požadavky ^[16]
- Příloha č. 7 AIP SUP 5/11
- Příloha č. 8 Praha/Ruzyně RNAV STAR RWY24 ^[18]
- Příloha č. 9 Praha/Ruzyně RNAV SID RWY24 ^[18]
- Příloha č. 10 Praha/Ruzyně CDA RNAV STAR RWY06
- Příloha č. 11 Praha/Ruzyně RNAV SID RWY06 ^[18]
- Příloha č. 12 Praha/Ruzyně CDA RNAV STAR RWY06/24 – navržená provozní výšková omezení
- Příloha č. 13 Uživatelské prostředí softwaru RNAV – Validation Tool
- Příloha č. 14 Publikované STAR pro letiště ENGM ^[21]