

VĚDECKÉ SPISY VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

Edice PhD Thesis, sv. 777

ISSN 1213-4198

thesis
?
IS

Ing. Petr Veselý

**Zavedení postupů navigace
podle požadavků PBN
(Performance Based Navigation)
na regionálním letišti**

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV

Ing. Petr Veselý

**ZAVEDENÍ POSTUPŮ NAVIGACE PODLE POŽADAVKŮ PBN
(PERFORMANCE BASED NAVIGATION)
NA REGIONÁLNÍM LETIŠTI**

IMPLEMENTATION OF PBN – PERFORMANCE BASED NAVIGATION
PROCEDURES TO REGIONAL AIRPORT

Zkrácená verze Ph.D. Thesis

Obor: Konstrukční a procesní inženýrství
Školitel: prof. Ing. Dušan Kevický, CSc.
Oponenti: doc. Ing. Slavomír Vosecký
Ing. Vladimír Soldán, Ph.D.
Datum obhajoby: 20. května 2015

Klíčová slova:

PBN, RNAV, RNP, letiště, SID, STAR, APV, LPV, SBAS, kapacita, výška rozhodnutí, navigace, GNSS, navigační výkonnost, Visual Simmod

Keywords:

PBN, RNAV, RNP, airport, SID, STAR, APV, LPV, SBAS, capacity, decision height, navigation, GNSS, navigational performance, Visual Simmod

Místo uložení práce:

Oddělení pro vědu a výzkum FSI VUT v Brně

© Petr Veselý, 2015

ISBN 978-80-214-5212-1

ISSN 1213-4198

OBSAH

1 ÚVOD.....	5
2 NAVIGACE ZALOŽENÁ NA VÝKONNOSTI – PBN.....	5
3 SOUČASNÝ STAV IMPLEMENTACE PBN	7
3.1 PBN v evropském kontextu	7
3.2 Navigační prostředí v ČR.....	9
4 CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE.....	10
5 LETIŠTĚ KUNOVICE (LKKU)	11
5.1 Současný stav	11
5.2 Provozní statistiky LKKU a Tma Brno	13
6 VÝSLEDKY DIZERTAČNÍ PRÁCE	14
6.1 Návrhy postupů PBN pro letiště Kunovice.....	14
6.2 Ověření dopadů zavedení PBN na letišti Kunovice pomocí softwarové simulace	20
6.3 Metodika pro zavádění PBN na regionálních letištích v ČR	25
7 ZÁVĚR	28
8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	29
AUTOROVO CV.....	31
ABSTRAKT	32

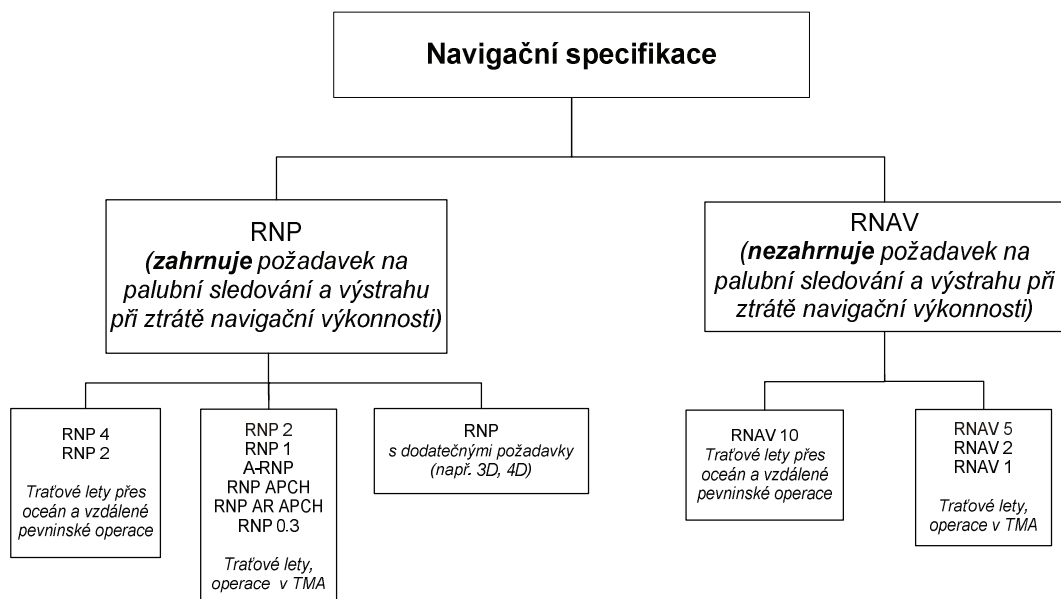
1 ÚVOD

Téma disertační práce je zasazeno do oblasti zavádění postupů prostorové navigace a jejích specifikací dle požadavků PBN (Performance Based Navigation). Trendy vývoje v oblasti navigace vedly k závěru zaměřit se na konstrukci postupů pro přilety, odlety a přiblížení na přistání pro vybrané regionální letiště včetně ověření dopadů na celkový obraz provozu. Při konstrukcích výše zmíněných postupů se počítá s primárním využitím družicové navigace. Očekávaným přínosem rekonstrukce vzdušného prostoru je zefektivnění provozu v okolí letiště, snížení minim pro přistání, zvýšení kapacity letiště při zachování úrovně bezpečnosti provozu a v neposlední řadě zvýšení dostupnosti a využitelnosti letiště i za zhoršených meteorologických podmínek.

2 NAVIGACE ZALOŽENÁ NA VÝKONNOSTI – PBN

PBN je druh prostorové navigace s komplexně pojatými požadavky jak na požadovaný navigační výkon, tak na funkce avioniky a výcvik posádek. Požadavky na navigační výkonnost jsou vyjádřeny přesností, integritou, kontinuitou a dostupností. Uvedením PBN v roce 2008 Mezinárodní organizací pro civilní letectví ICAO vyvrcholila snaha o globální harmonizaci v oblasti prostorové navigace. Koncept PBN předcházela koncepce RNP (Required Navigation Performance) popsána v předchozích verzích dokumentu Doc 9613 [7]. Uvedením PBN došlo k rozšíření původní koncepce RNP a ke globálnímu sjednocení terminologie.

Filozofie PBN je postavena na tzv. navigační specifikaci. Ta představuje ucelený soubor požadavků v souvislosti s konkrétními druhy provozu (trať, TMA, přiblížení) a také s použitelnou navigační infrastrukturou. PBN definuje dvě skupiny navigačních specifikací, RNAV a RNP. Rozdíl mezi nimi spočívá v tom, že zatímco RNAV specifikace nevyžadují pro provozní certifikaci palubní sledování a varování při ztrátě požadovaného navigačního výkonu, tak specifikace RNP ano. Účelem tohoto rozdělení je definice jednotlivých specifikací pro použití pro potřeby postupů ve vzdušných prostorech s různým pokrytím přehledovými službami. Tam, kde je toto pokrytí dostatečné, se primárně počítá se specifikacemi RNAV. Avšak tam, kde je toto pokrytí nedostatečné nebo zcela chybí, se počítá se specifikacemi RNP. Pod skupinu RNP patří také specifikace určené pro zabezpečení přiblížení na přistání včetně nových druhů přiblížení, jakými jsou například přiblížení se zatáčkou v úseku konečného přiblížení. Struktura rozdělení jednotlivých navigačních specifikací je na obr. 2-1.



Obr. 2-1 Navigační specifikace PBN [8]

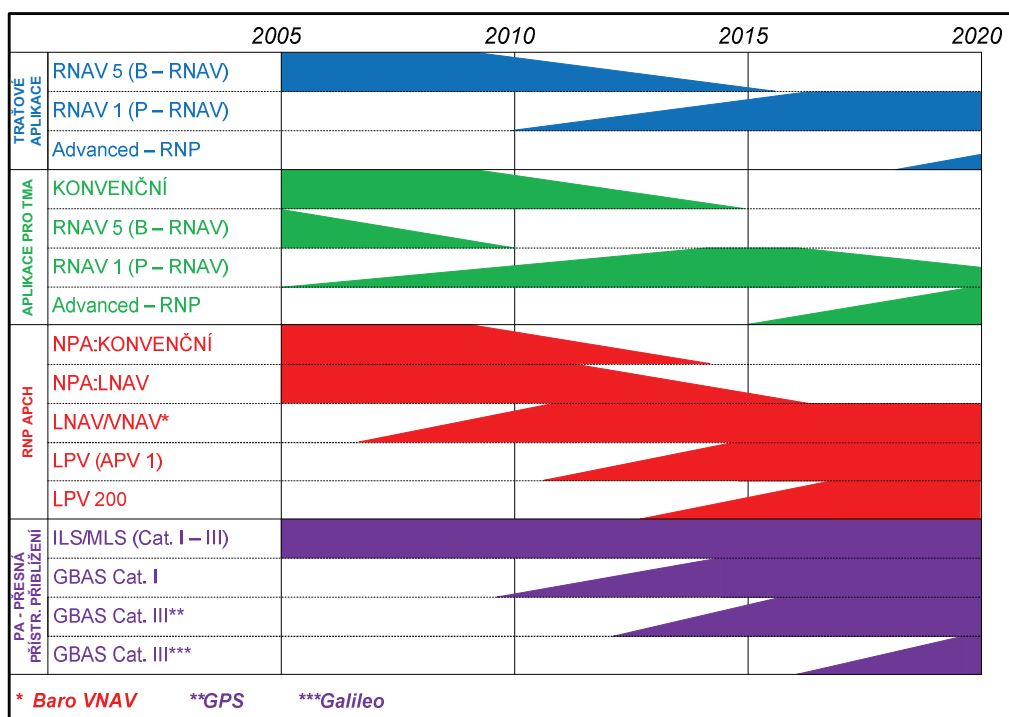
Navigační specifikace spolu s navigační infrastrukturou spoluvytvářejí v daném vzdušném prostoru pro požadovaný úsek letu tzv. navigační aplikaci. Navigační aplikace je implementace požadavků na navigační výkonnost (obsažených ve specifikaci) odpovídající koncepci daného vzdušného prostoru s podporou dostupné navigační infrastruktury [8]. Navigačních aplikací existuje celá řada. Jako příklad můžeme uvést implementaci specifikace RNAV 1 pro postupy SID/STAR na letišti Václava Havla v Praze nebo přiblížení RNP AR APCH na letišti Innsbruck.

Obecně očekávanými přínosy PBN jsou:

- redukce potřeby udržování tratí založených na senzorové navigaci,
- redukce další nutnosti vývoje postupů pro konkrétní radionavigační zařízení,
- zvýšení efektivity ve využívání vzdušného prostoru,
- jasné určení vztahu mezi RNP a RNAV,
- usnadnění procesu provozní certifikace pro provozovatele,
- ujednocení v názvosloví,
- položení základu pro další rozvoj aplikací CNS/ATM.

3 SOUČASNÝ STAV IMPLEMENTACE PBN

Rozvojem navigačního prostředí se zabývá dokument Eurocontrolu [3], ze kterého vychází národní plány pro rozvoj navigačního prostředí včetně plánu pro ČR. V tomto dokumentu je popsána strategie rozvoje letecké navigace a navigační infrastruktury, které jsou rozdělené do jednotlivých fází letu (trať, TMA, přiblížení) a do třech období, do roku 2015, mezi 2015 a 2020 a nakonec po roce 2020. Obecně lze konstatovat, že dlouhodobé a střednědobé plány rozvoje v oblasti navigace jsou založeny na plné implementaci PBN do všech fází letu. Strategie implementace PBN pro jednotlivé fáze letu tak, jak je definována v dokumentu [3], je popsána na obr. 3-1.



Obr. 3-1 Strategie implementace PBN ve vzdušném prostoru ECAC [3]

3.1 PBN V EVROPSKÉM KONTEXTU

3.1.1 Traťové lety

Od roku 1998 je povinností každého provozovatele splnit pro traťové lety ve vzdušném prostoru ECAC nad FL 95 požadavky B - RNAV, která je ekvivalentem PBN navigační specifikace RNAV 5. Pro traťové lety ve vzdušných prostorech členských zemí ECAC, případně Eurocontrol, v současnosti významně převažují implementace navigačních specifikací RNAV 5, resp. B - RNAV nad konvenčními postupy. Rozborem dostupných zdrojů [2] byl zjištěn podíl RNAV a konvenčních tratí v celkové délce postupů pro traťové lety ve vzdušném prostoru členských zemí ECAC. Z výše zmíněného rozboru vyplynulo, že podíl všech RNAV tratí je 73,3 % z celkové délky všech publikovaných tratí ve vzdušném prostoru ECAC. Podíl konvenčních tratí v celkové délce je 25,6 %, z čehož je nejvyšší podíl u tratí ve

spodním vzdušném prostoru (37,8 %). Konvenční tratě jsou publikovány především pro navazující prostory na vzdušný prostor ECAC. Těmi jsou například některé ze sektorů Ruské federace nebo traťový systém pro lety přes severní část Atlantického oceánu.

3.1.2 Postupy v TMA

V současnosti není předepsána žádná závazná navigační specifikace pro aplikaci postupů TMA. Řada letišť má publikované postupy dle RNAV 1, resp. P - RNAV, ale je zde celá řada postupů navržených pro různé modifikace B - RNAV nebo jako konvenční.

Strategie pro další rozvoj navigačních aplikací pro postupy v TMA je popsána v dokumentu [3]. Stejně jako v případě traťových postupů, také v případě TMA je patrný trend přechodu od konvenčních tratí k tratím RNAV 1 případně k dalším specifikacím typu RNP (RNP 1, A - RNP).

3.1.3 Oblast přístrojových přiblížení

Pro účely zmapování současného stavu implementace přístrojových přiblížení PBN (RNP APCH, RNP AR APCH) byla provedena analýza pomocí dostupných zdrojů [4]. Z analýzy vyplývá, že podíl drah dostupných prostřednictvím některého z přiblížení definovaného v koncepci PBN je vyšší než 60 procent. V tomto počtu má nejvyšší zastoupení přiblížení LNAV, které spadá do kategorie NPA. Podíl počtu dostupných drah jedním z přiblížení APV je 21 %. Nízký počet přiblížení dle navigační specifikace RNP AR APCH vypovídá o náročnosti jeho implementace z pohledu certifikace i dodatečných nákladů. Přiblížení LP spadající pod NPA není v současnosti publikováno jako postup pro přiblížení na žádném letišti ECAC.

Dalším rozbohem bylo zjištěno, že z celkového počtu 145 letišť se zavedeným přiblížením s vertikálním vedením (APV) využívá tento druh přiblížení jako primární celkem 30 letišť. Z tohoto počtu 22 letišť využívá jako primární způsob přiblížení LPV a 8 využívá LNAV/VNAV. Zbýlých 115 identifikovaných letišť s jedním ze způsobů přiblížení APV je využívá jako záložní či doplňková, v drtivé většině pro ILS. Dalším faktem stojícím za zmínku je, že z výše zmíněného počtu 30 letišť s primárním druhem přiblížení APV leží 14 letišť na území Francie, 15 letišť na území Spolkové republiky Německo a jedno přiblížení LNAV/VNAV je publikováno jako primární na islandském letišti Saudarkrokur (BIKR).

Trend v oblasti navigace pro konečné fáze přístrojových přiblížení ve vzdušném prostoru ECAC se dá popsat jako postupné omezování klasických NPA přiblížení a jejich nahrazení novými druhy přiblížení definovanými v konceptu PBN. Očekávanými přínosy jsou zvýšení bezpečnosti a omezení rizika fatálních nehod při tzv. řízeném letu do terénu (CFIT) během konečné fáze přiblížení. Dalším z očekávaných přínosů zavedení APV je potenciální zvýšení dostupnosti takto vybavených letišť snížením výšky rozhodnutí (DA). V neposlední řadě nelze opomenout ani roli APV jako kvalitní zálohy nebo rozšíření portfolia přiblížení letišť vybavených pro postupy PA především pak systémem ILS.

3.2 NAVIGAČNÍ PROSTŘEDÍ V ČR

Současný stav i budoucí rozvoj navigačního prostředí České republiky lze definovat jako plně harmonizovaný s trendy letecké navigace v západní a střední Evropě. Implementace PBN v rámci vzdušného prostoru ČR se opírá o Koncepti rozvoje navigačního prostředí České republiky v období do roku 2020, která je publikována prostřednictvím leteckého informačního oběžníku AIC A 1/12 [9]. Koncepte vychází z dokumentu Eurocontrolu s názvem ECAC Navigation Strategy and Implementation Plan a z dokumentu [3] zmíněného v předchozí části. Plán rozvoje navigace rozděluje splnění jednotlivých cílů do období do roku 2012, 2012 - 2016 a 2016 - 2020.

3.2.1 Období do r. 2012

Popisuje stav navigačního prostředí ve vzdušném prostředí České republiky. Pro traťovou navigaci nad FL95 je jako základní specifikace požadována B – RNAV s využitím VOR, DME a GNSS. Pro tratě SID a STAR v TMA Praha se vyžaduje pouze P – RNAV, ostatní letiště využívají specifikaci B – RNAV nad MSA/MRVA nebo konvenční tratě.

Pro přesné přiblížení zůstávají na letištích LKPR, LKKV, LKMT a LKTB primárním prostředkem systému ILS s tím, že tam, kde je k dispozici DME, budou rušena návěstidla 75 MHz. Nepřesná přiblížení s využitím VOR a NDB zůstanou v platnosti. Dále se v tomto období počítá s postupným zavedením RNP APCH a to jako NPA a jako APV/Baro VNAV.

3.2.2 Období od r. 2012 do r. 2016

Od 11. listopadu 2012 se stává platným nový formát letového plánu (FPL), který v rámci harmonizace s koncepcí PBN zavádí terminologii ve smyslu navigačních specifikací. Pro lety ve vzdušném prostoru ČR to znamená nahrazení B – RNAV jejím ekvivalentem RNAV 5. Pro TMA s původní specifikací P–RNAV je od tohoto data používán název RNAV 1, ačkoli se nejedná o ekvivalent (RNAV 1 nepodporuje navigační senzor VOR/DME) [10].

V oblasti traťové navigace se předpokládá postupné rušení traťových VOR ke konci jejich životnosti a to bez adekvátní náhrady. Zařízení DME budou zachována, případně přemístěna do vhodnějších lokalit. Do konce období bude zahájena implementace RNAV 1 pro tratě LPS.

Pro přílety a odlety pokračuje implementace RNAV 1 s primární podporou GNSS na letištích LKMT, LKTB a LKKV. Neočekává se podpora dalšího rozšiřování současné infrastruktury DME. Jako záloha pro GNSS budou sloužit letištní majáky VOR, aktuálně využívané pro přílety, odlety a vyčkávání.

Přiblížení se bude nadále provádět primárně podle systému ILS s tím, že dojde k dalšímu rozšíření specifikace RNP APCH (APV Baro, APV SBAS) a do konce období budou zavedena na všech letištích IFR jako náhrada za NPA. Ke konci období lze očekávat zrušení NPA s využitím NDB (tam, kde je k dispozici NPA VOR) a zavedení postupů GBAS.

3.2.3 Období od r. 2016 do r. 2020

V posledním období je určena satelitní navigace jako primární zdroj navigační informace. Pro traťové lety bude plně implementována specifikace RNAV 1, stejně jako pro lety v TMA. Dle úrovně pokrytí službami ATC lze jako alternativu zavést postupy RNP 1. Pro TMA Praha bude kromě GNSS k dispozici i zdroj signálu DME. Ostatní letiště IFR budou využívat pouze satelitní navigaci.

Pro konečné přiblížení se i nadále preferuje ILS s tím, že se počítá s dalším rozšiřováním CAT II/III na ostatní letiště. V tomto období se také počítá s postupy GBAS pro CAT II/III. Přístrojová přiblížení využívající VOR nebo NDB budou nahrazena postupy APV [9].

4 CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE

Analýza současného stavu a trendů rozvoje navigačního prostředí v zemích ECAC a Eurocontrol naznačila vymezení zkoumané problematiky. Tou bude v této disertační práci zavedení postupů dle koncepce PBN na regionálním letišti v rámci ČR s provozem IFR včetně implementace LPV jako primárního způsobu přiblížení a prozkoumání dopadu takovéto implementace na kapacitu vzdušného prostoru a dostupnost zkoumaného letiště.

Při stanovování cílů disertační práce bylo nutné vybrat vhodné letiště dle určených parametrů, pro které budou zpracovány postupy v souladu PBN. Níže jsou uvedena kritéria pro výběr letiště s potenciální využitelností pro další implementaci nových postupů RNAV:

- letiště s provozem IFR,
- letiště se službou řízení letového provozu,
- letiště s alespoň jednou zpevněnou VPD,
- letiště se statutem mezinárodní letiště,
- letiště vybavené nejvýše NPA jako primárním druhem přiblížení.

Vyhodnocením výše uvedených kritérií lze konstatovat, že existuje celá řada letišť se zpevněnými VPD i se statutem mezinárodní (neveřejné) letiště (např. Mnichovo Hradiště, Hradec Králové, Plzeň Líně aj.), avšak bez publikovaných postupů pro lety IFR a služby řízení letového provozu. Zavedením postupů prostorové navigace na neřízené letiště v ČR může být námětem pro další studie, případně akademické práce. Z letišť publikovaných v AIP ČR jako IFR splňuje výše uvedená kritéria nejlépe letiště Kunovice (LKKU). S přihlédnutím k vazbám na dřívější spolupráci s LÚ VUT a v neposlední řadě po konzultacích s kompetentními pracovníky ŘLP, se disertační práce zaměří právě na LKKU.

Možnosti zavedení prostorové navigace dle požadavků PBN na letištích obdobných letišti Kunovice nebyla zatím v ČR hlouběji zkoumána. Implementace je zaměřena především na Letiště Praha (LKPR) a na větší regionální letiště jako např. Brno Tuřany (LKTb) a Ostrava Mošnov (LKMT). Regionální letiště s nižší úrovní

provozu jakými jsou například Kunovice nebo Pardubice (LKPD) dosud nabízí pouze konvenční postupy. V případě LKKU je případné zavedení PBN v souladu s koncepcí TMA Brno, pod kterým je letiště Kunovice umístěno. Výše jmenované skutečnosti vedly k postupnému vymezení tří hlavních cílů disertační práce:

1. Návrh reorganizace vzdušného prostoru a postupů na letišti Kunovice dle PBN.
2. Ověření navrhovaných změn pomocí počítačového modelování.
3. Vytvoření metodického postupu pro zavádění nových navigačních metod s použitím moderních technologií v souladu s požadavky PBN na regionálních letištích v ČR.

5 LETIŠTĚ KUNOVICE (LKKU)

5.1 SOUČASNÝ STAV

Vzdušný prostor letiště tvoří od země do nadmořské výšky 5000 ft CTR Kunovice. Nad CTR se nachází TMA Brno III, které je definováno horní hranicí FL 125. Celý vzdušný prostor kunovického letiště se nachází v CTA 2 Brno. S ukončením vojenského provozu na LKPO (1. října 2013) zanikla jak příslušná MTMA, tak také MCTR a příslušná stanoviště řízení a na místo toho vznikla nová TMA VII Brno a TMA V Ostrava. Jižně a východně sousedí vzdušný prostor LKKU se vzdušným prostorem Slovenské republiky (FIR Bratislava).

Provoz na letišti Kunovice je do jisté míry podřízen provozu na letišti Brno - Tuřany. Pro přílety a odlety je v rámci TMA Brno prováděna přehledová služba stanovištěm Brno Approach/Radar. V případě příletů jsou letadla vedena až do bodu IAF. Stanoviště Kunovice Tower nemá v současnosti k dispozici žádný přehledový systém. Postupy pro přístrojové přílety (STAR) a odlety (SID) využívané v současnosti na letišti Kunovice jsou navrženy jako konvenční tratě s využitím pozemních navigačních prostředků VOR/DME (BNO, STO) a NDB (HLV, KUN, KNE). Jako vstupní a výstupní body jsou částečně využity stejné body jako v případě postupů na LKTB (MAVOR, HLV a BNO). Bod MIKOV byl až do 1. května 2014 využit jak pro přílety, tak také pro odlety z LKKU. Aby došlo ke sladění s novými postupy prostorové navigace pro LKTB, byla po výše zmíněném datu publikována modifikace postupu STAR související se změnou vstupního bodu MIKOV na bod LEDVA. Bod MIKOV je stejně jako v případě LKTB využit pouze pro odlety. Současná podoba postupů SID a STAR je publikována na příslušných mapách v AIP ČR v části AD 2. Struktura vzdušného prostoru je schematicky znázorněna na obr. 5-1.

Dráhový systém letiště LKKU je tvořen třemi paralelními VPD, z nichž 21C/03C je jako jediná zpevněná s délkou 2000 m a šířkou 30 m. Oba směry zpevněné dráhy jsou vybaveny světelnou indikační soustavou pro přesné přiblížení APAPI se sklonem 3,5°. Dráha 21C je dále vybavena jednoduchou přibližovací světelnou soustavou (SALS) o délce 420 m. V opačném směru není v současnosti dráha vybavena žádným přibližovacím světelným systémem.

Jediné dostupné přístrojové přiblížení pro LKKU je nepřesné přístrojové přiblížení (NPA) typu NDB pro dráhu 21C. To je zabezpečeno dvěma majáky NDB (KUN, KNE) a třemi radiovými návěstidly 75 MHz. Přiblížení navazující na konvenční příletové tratě vedené od bodů MIKOV, BNO a MAVOR začíná na bodě počátečního přiblížení (IAF) NDB KUN a pokračuje základní zatáčkou, která přivádí let zpět na NDB KUN, který v tomto případě zároveň představuje bod konečného přiblížení (FAF), a do osy přiblížení. Příletový provoz využívající vstupní bod HLV začíná na IAF NAPAG a pokračuje přímo na (FAF) NDB KUN. Minimální letová výška nad bodem FAF KUN je v současnosti 2500 ft. Hodnota bezpečné výšky nad překážkami (OCH) v bodě MAPt KNE pro toto přiblížení je 420 ft. Přístrojové přiblížení používané v současné době a letištní mapa jsou prezentovány v AIP ČR v části AD 2.

5.2 PROVOZNÍ STATISTIKY LKKU A TMA BRNO

Cílem analýzy provozních statistik je získat přehled o skladbě provozu klasifikovaného do následujících oblastí:

- souhrnný počet pohybů IFR mířících do anebo z CTA Brno,
- souhrnný počet pohybů IFR na letišti Kunovice,
- LKKU přílety – statistika vytíženosti vstupních bodů,
- LKKU odlety – statistika vytíženosti výstupních bodů,
- rozbor četnosti pohybů dle kategorie letadel,
- rozbor četnosti pohybů dle druhu pohonu a počtu pohonných jednotek.

K analýze souhrnných počtů pohybů v rámci CTA Brno posloužila data ze statistického portálu Eurocontrolu Statfor [5] získaných pro období 2005 až 2013. Pro další rozborů bylo nutno využít podrobnější data než údaje ze statistického serveru Statfor. Za tímto účelem byly získány provozní a radarové výpisy ŘLP ČR, s. p. pro letiště Kunovice mezi lety 2008 a 2013 [13]. Denní, týdenní ani roční provozní špičky nebyly v případě LKKU zkoumány z důvodu nízkého počtu denních pohybů a absence pravidelných linek nebo sezónních charterových letů s pravidelným letovým plánem.

Rozborem statistických dat bylo zjištěno:

- Dominantním letištem z hlediska pohybů IFR v CTA Brno je letiště Brno Tuřany.

- Podíl letiště Kunovice na celkových pohybech v rámci CTA Brno se zvýšil mezi lety 2005 a 2013 ze 4 % na 12,4 % a dále vykazuje rostoucí trend.
- V celkovém počtu pohybů hrají důležitou roli místní lety, zejména pak mezi lety 2011 a 2013, kde se podílí na celkovém počtu pohybů mezi 22 a 34 procenty.
- Nejvytíženějším příletovým bodem z pohledu celkového počtu pohybů IFR na LKKU jsou body HLV a BNO.
- Nejvytíženějším příletovým bodem bez započtení místních letů je bod BNO.
- Nejvytíženějším odletovým bodem jak z pohledu celkového počtu pohybů IFR na LKKU, tak také bez započtení místních letů je bod BNO.
- Z pohledu rozdělení všech pohybů do kategorií letadel jsou nejčetnějšími kategoriemi A a B, přičemž kromě roku 2011 dominuje kategorie A.
- Z pohledu rozdělení pohybů do kategorií dle V_{at} bez započtení místních letů jsou také nejčetnějšími kategoriemi A a B, přičemž v letech 2011 a 2012 výrazně dominuje kategorie B.
- Při klasifikaci celkových statistik podle druhu pohonu a počtu motorů dominují kategorie vícemotorových turbovrtulových a proudových letadel.
- Při klasifikaci statistik bez místních letů podle druhu pohonu a počtu motorů dominuje od roku 2010 kategorie proudových letadel.

6 VÝSLEDKY DIZERTAČNÍ PRÁCE

6.1 NÁVRHY POSTUPŮ PBN PRO LETIŠTĚ KUNOVICE

Na základě požadavků uživatelů vzdušného prostoru byly zpracovány možnosti vedení postupů PBN dle vybrané navigační specifikace pro všechny fáze letu uvnitř TMA pro LKKU (SID, STAR, přiblížení na přistání).

Metody pro konstrukci a implementaci postupů PBN jsou popsány v rámci disciplíny PANS – OPS (Procedures for Air Navigational Services – Aircraft Operations) prostřednictvím dokumentu ICAO Doc 8168 II [6]. Tyto metody popisují jednotlivé postupy a výpočty za účelem získání bezpečného odstupu od překážek pro všechny fáze letu v zatáčkách i v přímých úsecích.

Klíčové je v tomto směru zavedení pojmu ochranný prostor, což je virtuální soubor geometrických ploch, vůči kterým se posuzují překážky a vyhodnocují trajektorie navrhovaného postupu. Popis ochranného prostoru je založen především na parametru zvaném polovina celkové šířky ochranného prostoru ($\frac{1}{2}$ AW), který přímo závisí na navigační výkonnosti a zvolené navigační specifikaci PBN. Ochranné prostory v zatáčkách se konstruují podle pravidel uvedených ve zmíněném dokumentu ICAO [6], případně ve stručné formě v leteckém předpisu L8168 [15].

Po dalším studiu problematiky konstrukcí přiletových postupů a specifického prostředí provozu a vzdušného prostoru LKKU, byly pro pokračování stanoveny následující podmínky:

1. S ohledem na Konceptci rozvoje navigačního prostředí ČR a také na lokální dostupnost pozemních navigačních prostředků budou postupy konstruovány výhradně pro využití GNSS.
2. Navrhované tratě STAR a SID budou začínat, resp. končit ve stávajících bodech.
3. Navrhované tratě budou v maximální možné míře využívat stávající publikované body jako WPT.
4. Veškeré uvažované specifikace budou zvažovány a uváděny dle názvosloví a požadavků PBN.
5. Nová přiblížení budou navržena dle požadavků PBN navigační specifikace RNP APCH jako přiblížení s vertikálním vedením APV SBAS.
6. Výška bodu středního přiblížení (IF) a sestupový úhel konečného přiblížení (VPA) budou zachovány jako u současného přiblížení NPA, (tj. $3,5^\circ$ a 2500 ft).

6.1.1 Databáze překážek LKKU

Jedním z dílčích cílů dizertační práce je sestavení databáze překážek pro vyhodnocení při konstrukcích nových postupů. Soubor dat představuje překážky rozdělené do skupin podle druhu (umělé, přírodní) a geografického umístění (Bílé Karpaty, Chříby, Zlínsko). Databáze překážek je prezentována jako elektronická příloha dizertační práce.

6.1.2 Návrh přiblížení APV SBAS pro dráhu 21C/03C

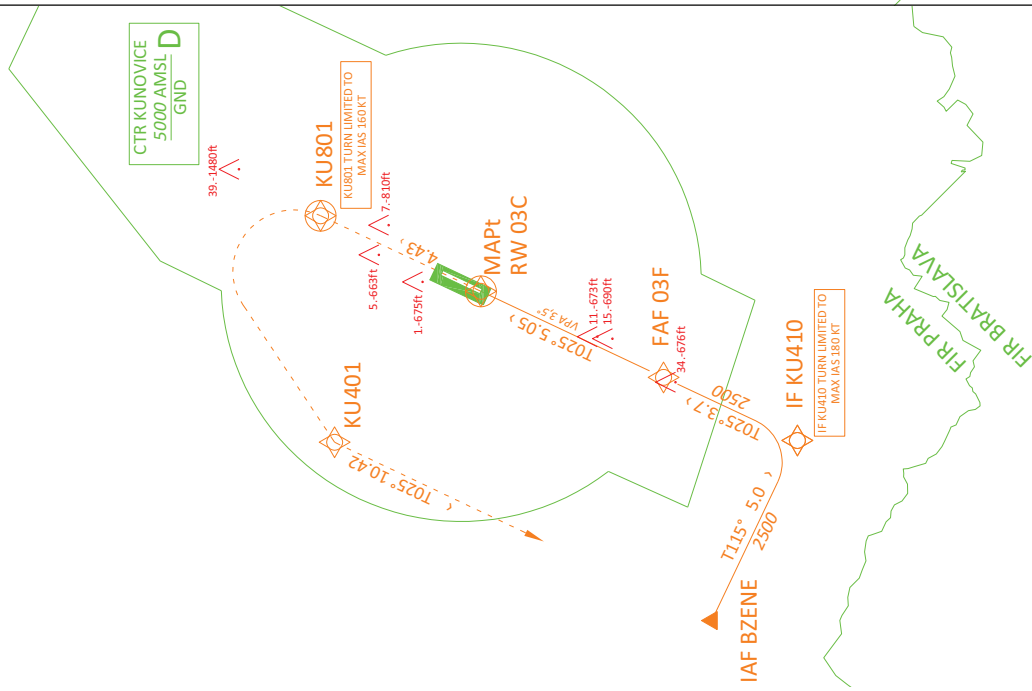
Konstrukce přístrojových přiblížení je zaměřena na aplikaci APV SBAS za účelem zvýšení bezpečnosti redukcí rizika vzniku události CFIT a dále zvýšení dostupnosti LKKU snížením hodnot OCA/H.

Jedním z výstupů dizertační práce je konstrukce přiblížení pro dráhu 03C, pro kterou není dosud publikováno přístrojové přiblížení. Analýzou překážek za pomoci specializovaného softwaru MET (Minima Estimation Tool) bylo zjištěno, že žádná z překážek neprotne žádnou z rovin OAS (Obstacle Assessment Surface). Z toho vyplývá, že hodnoty OCA/H se rovnají hodnotám ztráty výšky při přechodu do stoupání (HL) pro jednotlivé kategorie letadel. V porovnání se současnou hodnotou $OCH = 420$ ft jde o snížení o 250 až 280 ft (76 - 85 m) v závislosti na kategorii V_{at} .

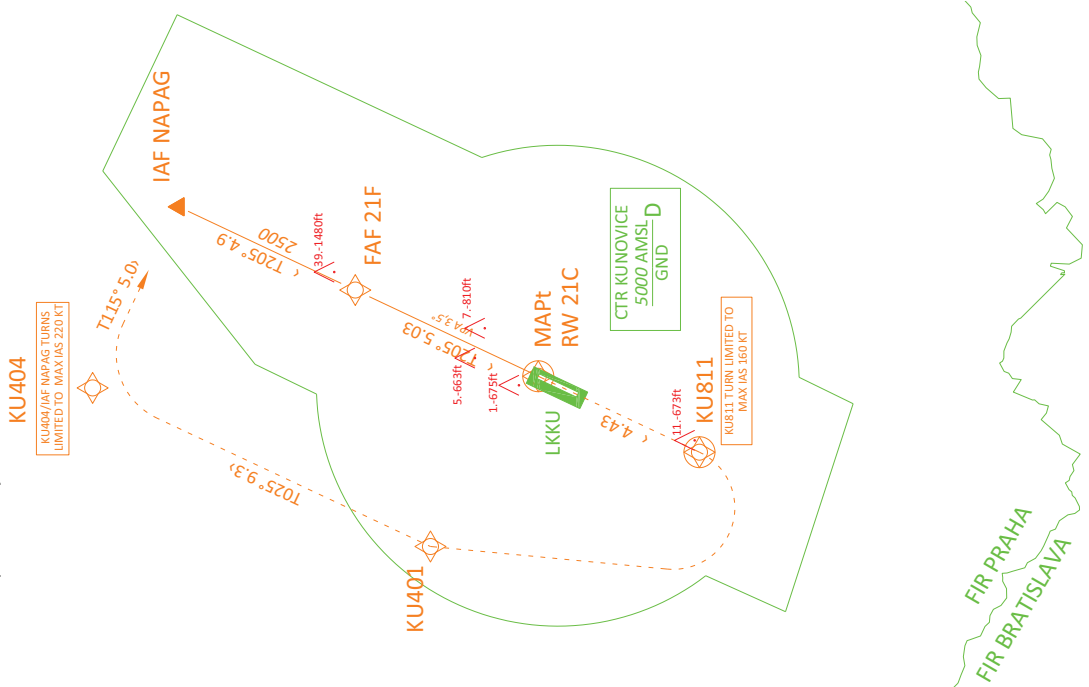
Výsledné hodnoty OCH pro nové přiblížení pro dráhu 21C jsou na základě analýzy v programu MET stejné jako u 03C. Tvar přiblížení pro 21C vychází ze současného NPA přiblížení NDB.

Podoba návrhů přiblížení PBN pro RWY 21C/03C je na obr. 6-1.

RNAV (GNSS) RWY 03C



RNAV (GNSS) RWY 21C

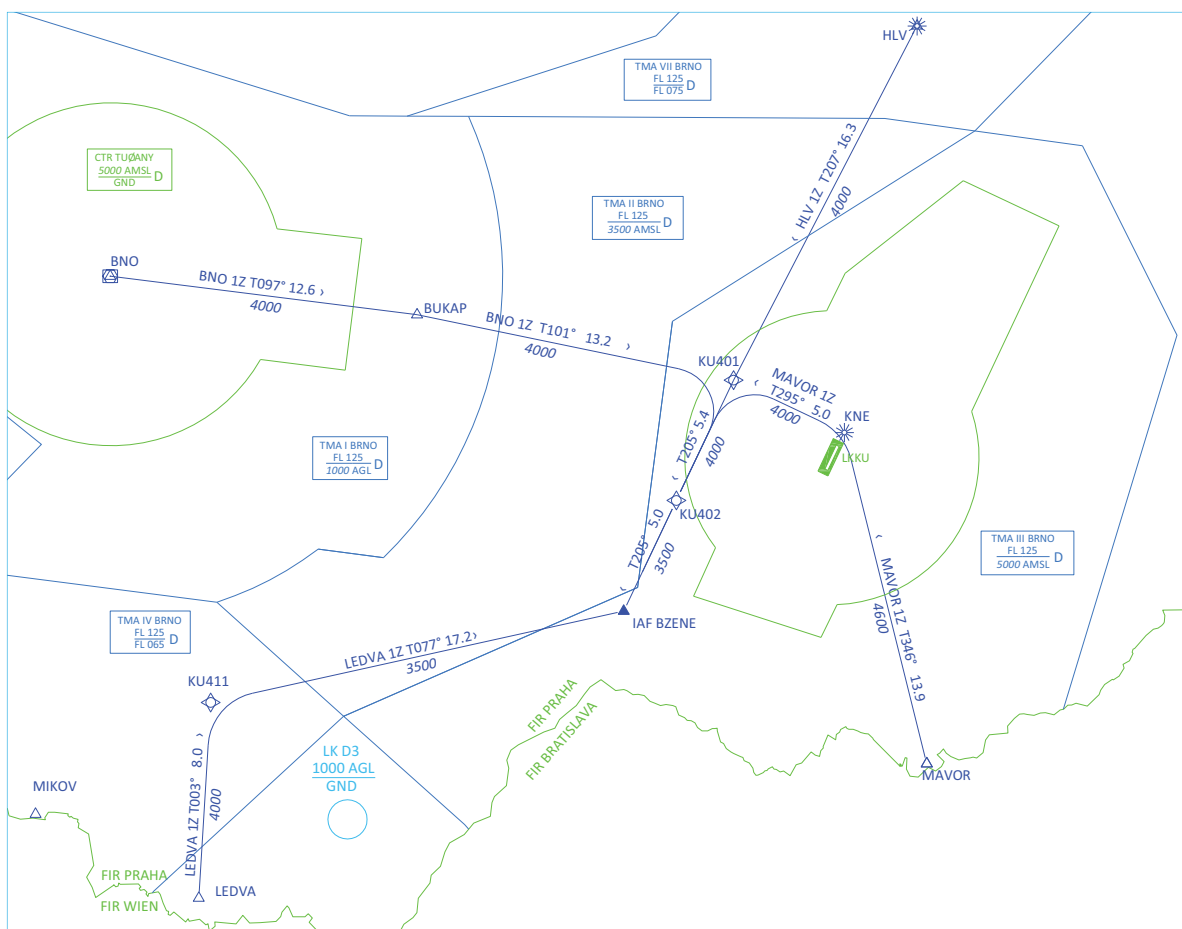


Obr. 6-1 Návrh přiblížení PBN (RNP APCH) pro RWY 03C (vlevo) a 21C (vpravo)

6.1.3 Návrh postupů RNAV STAR pro dráhu 21C/03C

Horizontální tvar všech navržených příletových tratí vychází z požadavků ŘLP ČR, s. p. a provozovatele letiště Kunovice. Filozofie je opřena o zavedení společného úseku po větru (rovnoběžně s osou RWY) s vloženými traťovými body pro případné zkracování ze strany ATC. Postupy STAR jsou navrženy tak, aby příslušné přiblížení, které následuje, zajistilo pohodlnou možnost klesání do potřebné výšky bez nutnosti nadbytečně měnit kurz letu. Minimální letové výšky (MFA) pro jednotlivé úseky jsou vypočteny v závislosti na překážkách a terénu z databáze překážek vyhodnocovaných vzhledem k ochranným prostorům pro kategorie letadel A až C zkonstruovaným pro navigační specifikaci RNAV 1. MOC je u všech tratí STAR rovna standardní hodnotě 1000 ft.

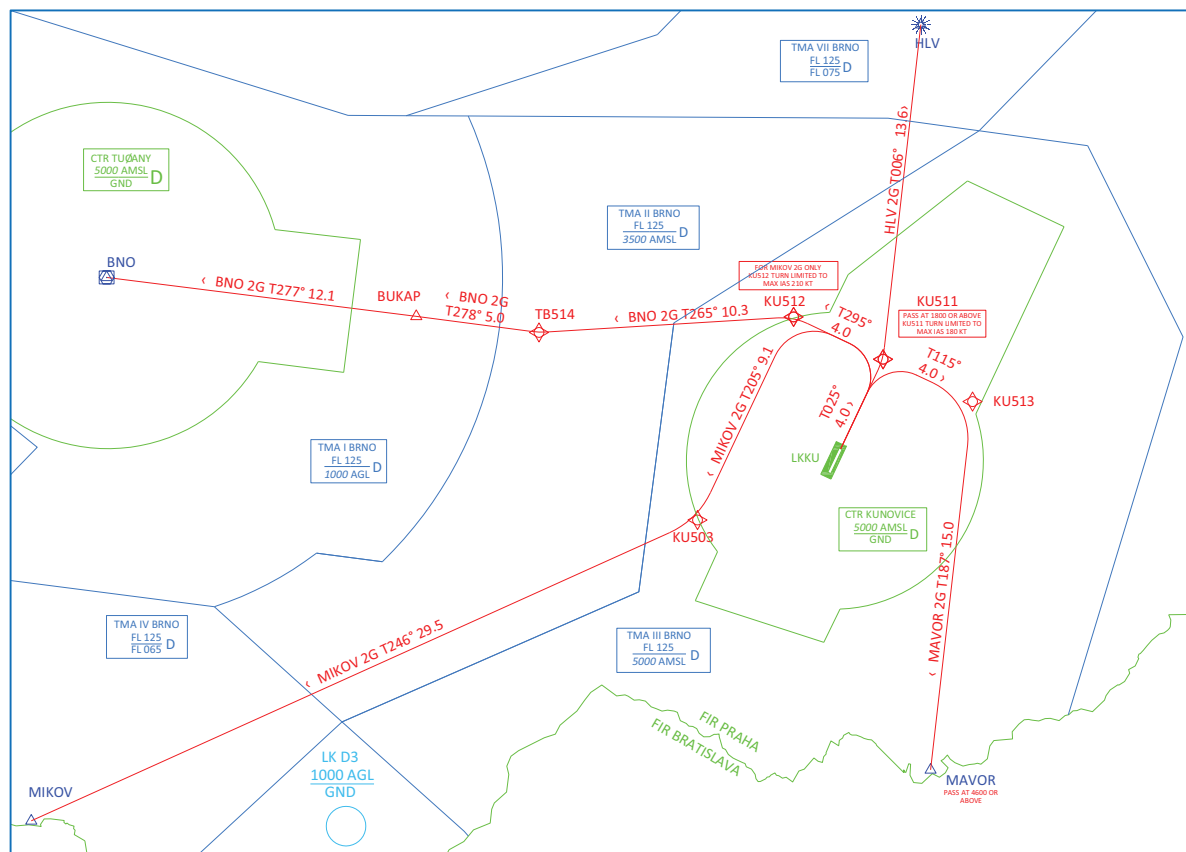
V procesu návrhu příletových postupů pro dráhu 03C jsou využity stávající vstupní body (LEDVA, BNO, HLV, MAVOR). Konečným bodem všech tratí STAR je IAF BZENE. Vzhledem k tomu, že pro dráhu nejsou dosud publikovány postupy STAR a s ohledem na nutnost odlišit důsledně tratě STAR pro LKTB a LKKU, ponese nové tratě STAR pro dráhu 03C vždy číslo 1 a písmeno Z (např. MAVOR 1Z). Podoba příletových tratí pro RWY 03C je prezentována na obr. 6-2.



Obr. 6-2 Návrh postupů pro přístrojové přiletý PBN (RNAV 1) pro dráhu 03C LKKU

hodnota vyšší, tím dochází k omezení letů, které za daných podmínek (teplota, vzletová hmotnost, atd.) nedostačují z hlediska letové výkonnosti. Proto je jedním z cílů dosažení redukce současných zvýšených PDG¹.

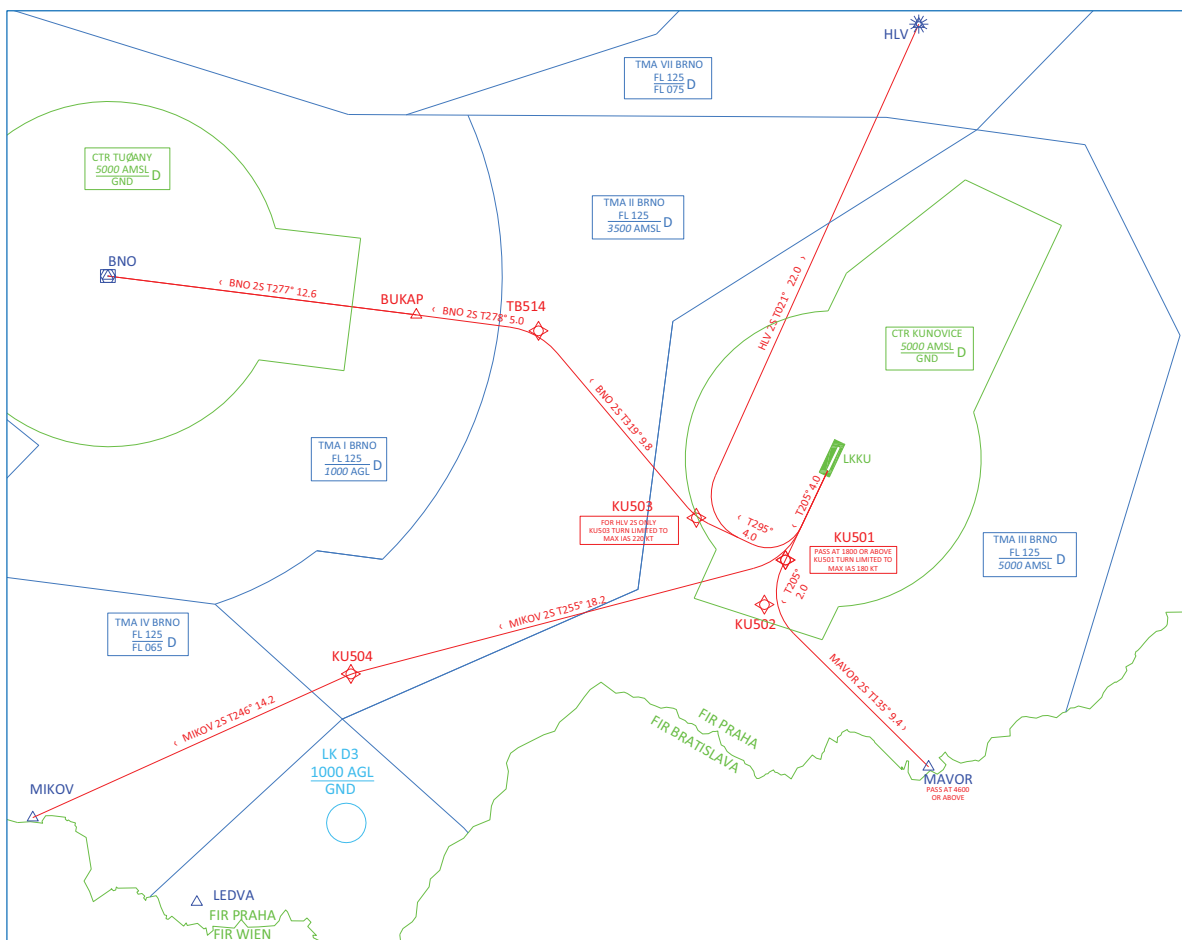
Zvýšený gradient (5 %) je v případě odletů z dráhy 03C aplikován pouze po stanovený bod točení KU511 (viz obr. 6-4). Dále je aplikována standardní hodnota PDG. Názvosloví tratí SID pro RWY 03C navazuje na současné značení. Každá trať nese název výstupního bodu, číslovku 2 a písmenný kód G (např. MIKOV 2G).



Obr. 6-4 Návrh postupů pro přístrojové odlety PBN (RNAV 1) pro dráhu 03C LKKU

U odletových postupů pro dráhu 21C je aplikována stejná metoda, tedy zvýšený PDG po bod točení (KU501) a dále pod standardním gradientem. U odletového potupu MAVOR 2S pro dráhu 21C došlo ke snížení PDG z 6 % na 5 % pro celou trajektorii postupu. Důvodem je lokace překážek a výška terénu v oblasti Bílých Karpat. Podoba návrhu odletových tratí pro dráhu 21C je na obr. 6-5.

¹Návrhový gradient stoupání (PDG) nesmí být nižší než jeho standardní hodnota 3,3 %. Za úseky se zvýšeným gradientem považujeme takové, které svým PDG převyšují standardní hodnotu. Úseky se zvýšeným PDG jsou na mapách SID obvykle označeny např. MNM ASC 5 % to KU511, PASS KU511 at 1800 ft or ABOVE, atd.



Obr. 6-5 Návrh postupů pro přístrojové odlety PBN (RNAV 1) pro dráhu 21C LKKU

6.2 OVĚŘENÍ DOPADŮ ZAVEDENÍ PBN NA LETIŠTI KUNOVICE POMOCÍ SOFTWARE SIMULACE

Jedním z dílčích cílů práce je ověření dopadů zavedení PBN na LKKU prostřednictvím fast-time simulací (FTS). K tomuto účelu by využit softwarový nástroj Visual Simmod, který je schopen prověřit navrhované změny např. měřením celkové propustnosti systému s možností analyzovat příčiny zpoždění. Simulace jsou prováděny na modelech, které se skládají ze souboru spojnic a uzlů a vytvářejí tak strukturu tratí ve vzdušném prostoru nebo pohybových ploch letiště.

Pro účely simulačního experimentování byly sestaveny 4 modely vzdušného prostoru. Kromě současných konvenčních postupů (Model 1) byly vytvořeny také modely postupů PBN pro dráhu 21C/03C, jak byly popsány v částech 6.1.2, 6.1.3 a 6.1.4 (Model 2 a 4). Dále vznikl alternativní model (Model 3), který se liší od Modelu 2 vedením příletového postupu MAVOR 2N na dráhu 21C.

Velkou pozornost bylo třeba věnovat nastavení modelů, především pak tzv. kontrolní strategii (Simmod Control Strategy – viz [1]). Kontrolní strategie je soubor pravidel, podle kterých probíhá chování modelu ve smyslu tvorby pořadí letadel na jednotlivých uzlech případně zásahů do parametrů letu za účelem dodržení předem definované separace.

6.2.1 Analýza zpoždění

První simulační experiment byl zaměřen na testování průběhu zpoždění s nárůstem počtu letadel v simulaci (pohyby/h). Každý model byl testován na 6 letových vzorcích lišících se v počtu letadel a rozložení jejich vstupu podle předem určeného scénáře. Počet letadel v modelu je odvozen od maximální předpokládané hodinové kapacity pro danou konfiguraci RWY příslušného složení provozu, tzv. mix – indexu (MI). Počet letadel v každém vzorku se liší podle úrovně maximální předpokládané kapacity (10, 25, 50, 75, 90 a 100 %). Rozložení provozu na vstupních a výstupních bodech odpovídá rozložení bez místních letů uvedenému v části 5.2 těchto tezí. Časové rozložení vstupů jednotlivých letadel do simulace je pravidelné podle počtu vstupů pro daný přílet nebo odlet během jedné simulační hodiny.

Celkem bylo provedeno 24 simulačních běhů, ze kterých byla získána naměřená data. Pro potřeby další analýzy byly sledovány následující výstupní parametry:

- TAT – Celková doba letu (Total Airborne Time),
- UAT – Celková doba letu bez zpoždění (Undelayed Airborne Time),
- TAD – Celkové zpoždění za letu (Total Airborne Delay), kde platí vztah:

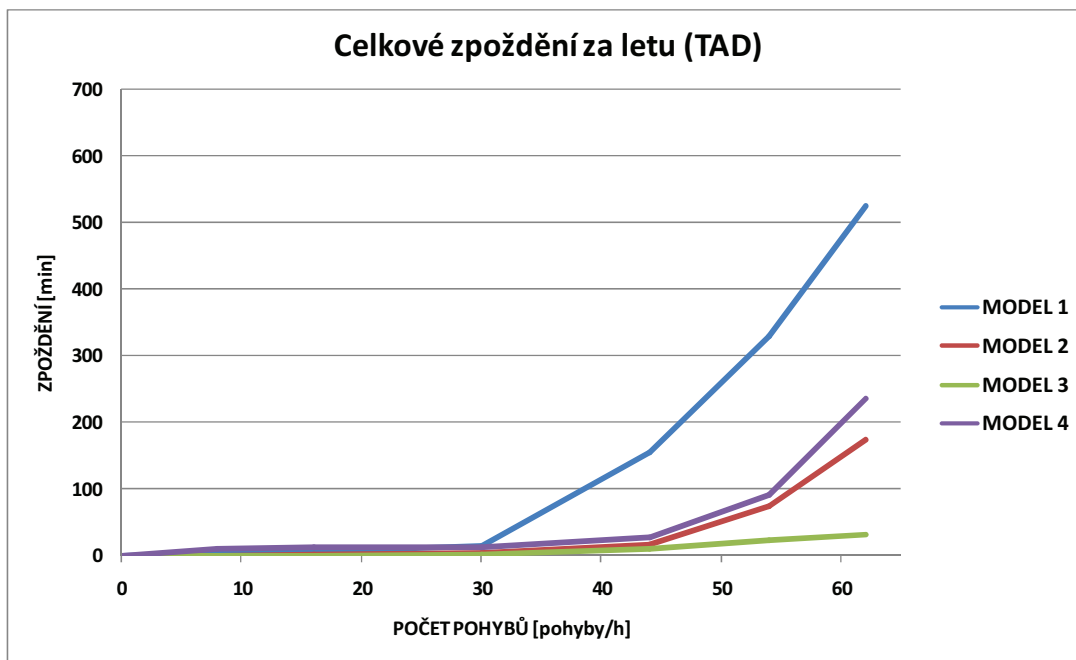
$$TAD = TAT - UAT \quad (6.1)$$

- TAD/TAT – Procentuální podíl celkového zpoždění v celkovém letovém čase,
- Zpoždění na POHYB – průměrné zpoždění jednoho letadla.

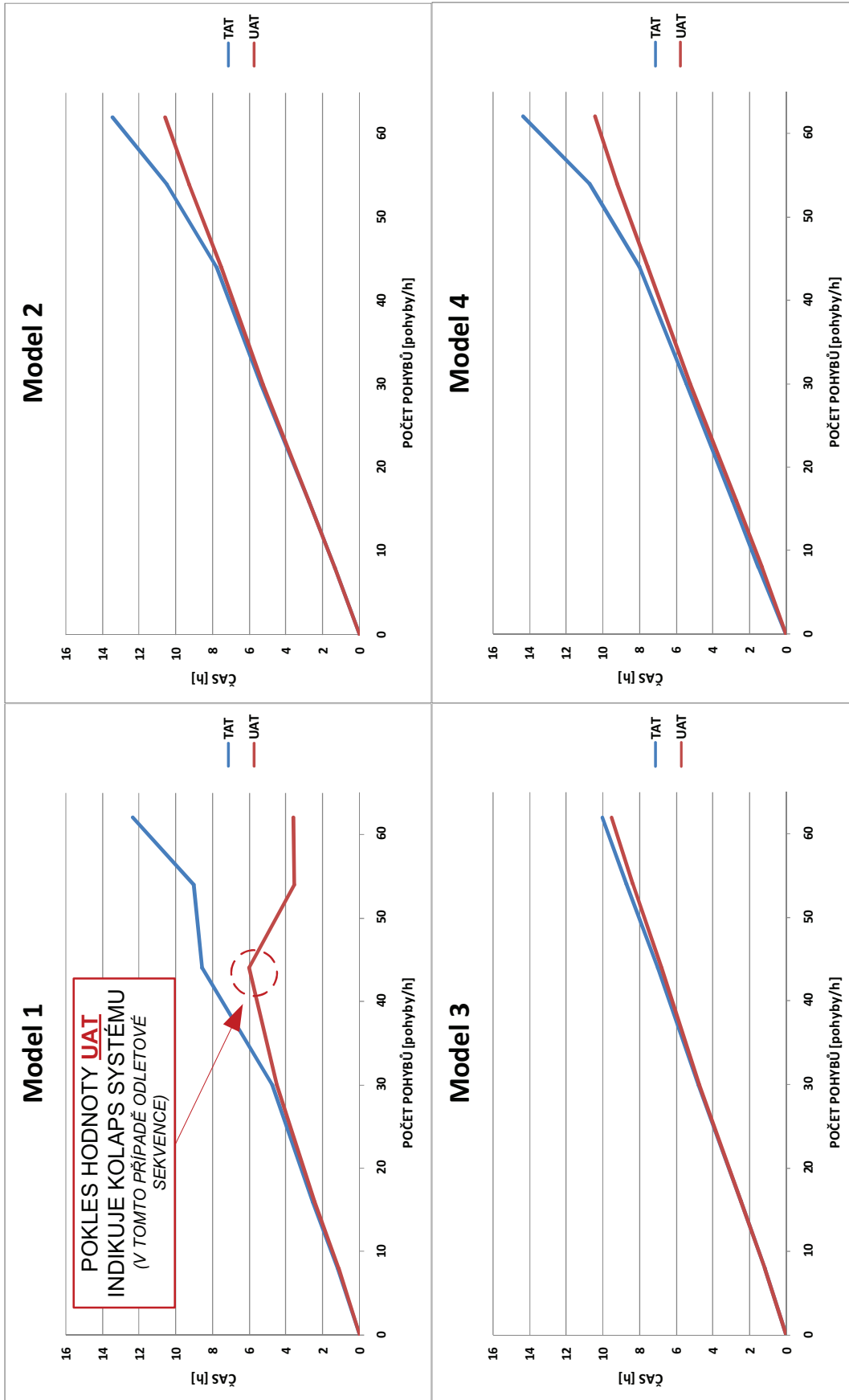
Srovnáním průběhu zpoždění u jednotlivých modelů bylo zjištěno:

1. U konvenčních postupů (Model 1) pro dráhu 21C došlo k prudkému nárůstu celkového zpoždění (TAD) přibližně s počtem 30 pohybů za hodinu, zatímco nárůst TAD u tratí PBN (Model 2 – 4) proběhne o 15 – 20 pohybů/h později (viz graf obr. 6-6).
2. Podíl zpoždění u konvenčních tratí při maximálním zatížení (62 pohybů/h) činí 71 %, zatímco u postupů PBN nepřesáhne 30 %.
3. Rozbor kumulace zpoždění ukazuje, že u modelu v současnosti používaných tratí se 68 % celkového zpoždění generuje na NDB KUN.
4. U nově navržených tratí se nejvíce zpoždění generuje na bodech IAF (BZENE, NAPAG) nebo na bodech jim předcházejícím, avšak nepřesáhne 30 % TAD.
5. Srovnání výsledků simulace pro modely dvou variant příletových postupů PBN pro dráhu 21C naznačuje, že z kapacitního hlediska je výhodnější vedení STAR MAVOR 2N východně od osy dráhy (viz obr. 6-6, křivka TAD pro Model 2 a 3).

6. Očekávání, že průběh celkové doby lety bez zpoždění (UAT) bude mít s rostoucím počtem pohybů letadel v modelu téměř lineární průběh, se potvrdilo pouze u nově navržených postupů PBN. Konvenční postupy vykazaly náhlý pokles UAT, což indikuje přeplněnost, resp. kolaps systému (viz graf obr. 6-7).



Obr. 6-6 Výsledky simulací - průběh zpoždění (TAD) s počtem pohybů za hodinu



Obr. 6-7 Průběh parametrů TAT a UAT s počtem pohybů za hodinu

6.2.2 Analýza cestovních časů

Druhý experiment je zaměřen na porovnání délky jednotlivých tratí prostřednictvím analýzy cestovních časů. Výstupy ze simulací byly částečně doplněny o zkrácené varianty některých postupů, které odpovídají zamýšleným taktickým napřímením tratí ze strany odpovědného stanoviště ATC (APP Brno). Pro každou trať, resp. její zkrácenou variantu, byl vyhodnocen UAT pro jedno letadlo (Cessna C25B Citation) a porovnán s konvenčním postupem pro daný vstupní/výstupní bod příp. s nezkrácenou variantou daného postupu. Z výsledků analýzy cestovních časů lze odvodit následující závěry:

1. Žádná z nasimulovaných hodnot cestovních časů (UAT) pro jednotlivé postupy za daných podmínek nepřesáhne 15 minut.
2. Nezkrácené postupy PBN STAR vykazují vyšší hodnoty cestovních časů. Rozdíly jsou v řádech jednotek procent ve srovnání s konvenčními postupy. Výjimkou je STAR LEDVA 2N (RWY 21C), kde rozdíl činí 17,08 %.
3. Simulace zkrácených variant příletových postupů prokázaly, že lze tímto způsobem eliminovat délku tratě ve srovnání s konvenčními postupy. V případě zkrácené LEDVA 2N bylo dosaženo rozdílu pod 6 %.
4. Simulace cestovních časů pro odletové postupy naznačily, že nové odlety navržené dle PBN zkrátily dobu letu. Rozdíly se liší podle dráhy a výstupního bodu. Simulace naznačily, že nejvyšší úspory času bude pravděpodobně dosaženo u postupů SID MAVOR 2G (RWY 03C) a SID MIKOV 2S (RWY 21C), kde jsou UAT kratší o 17,89 %, resp. 13,89 % ve srovnání s příslušnými konvenčními postupy.

6.2.3 Simulační experimenty – shrnutí

Lze konstatovat, že simulace jak současných, tak nově navržených tratí prokázaly předpoklad o vyšší propustnosti systému příletových a odletových tratí uspořádaných podle PBN. Dále se nepotvrdila negativní očekávání o nepřiměřeném nárůstu cestovních časů za účelem zvýšení kapacity. V případě příletů jsou rozdíly v řádech jednotek procent. Tam, kde je rozdíl vyšší, je eliminován možností taktického zkrácení ze strany ATC využitím funkce RNAV systému „DIR-TO“ jakožto závazné funkcionality pro navigační specifikaci RNAV 1. U odletů simulace naznačily, že nové tratě mohou přinést dokonce benefit ve formě zkrácení letového času.

Je potřeba mít na zřeteli jisté zjednodušení a nepřesnosti vnesené do simulací především pak u konvenčních postupů. Například nejistota v přesnosti modelu letadel, výkonnostních parametrů, vlivu počasí (vítr, teplota) může ovlivnit polohu bodů točení u odletů nebo tvar předpisové zatáčky u NPA přiblížení. Téma zpřesňování modelu je mimo rozsah této dizertační práce, avšak může být námětem pro další zkoumání v rozsahu akademických prací nebo výzkumných projektů.

6.3 METODIKA PRO ZAVÁDĚNÍ PBN NA REGIONÁLNÍCH LETIŠTÍCH V ČR

Metodika si klade za cíl popsat proces od prvotních návrhů až po předimplementační fázi. Důvodem ke zpracování takovéto metodiky je její potenciální využití v některých ze zamýšlených projektů zavedení PBN. Kromě letiště Kunovice a větších regionálních letišť se službou řízení letového provozu (LKTb, LKMT, LKKV) se jeví jako perspektivní zavedení PBN na ostatních letištích, jak s provozem IFR, tak také VFR. Z takových letišť jmenujme například Pardubice (LKPD), kde jsou zavedeny konvenční postupy IFR, Hradec Králové (LKHK), Přerov (LKPO), Mnichovo Hradiště (LKMh), České Budějovice (LKCS) a nebo Plzeň/Líně (LKLN).

Uvedená metodika je rozdělena do tří navazujících procesů:

- proces plánování,
- proces konstrukce postupů,
- proces softwarového ověřování.

6.3.1 Proces plánování

Proces plánování a přípravy projektu rekonstrukce postupů a zavedení PBN v daném vzdušném prostoru hraje klíčovou roli. V prvním kroku je nutné formulovat cíle, kterých má být dosaženo (krok 1). Dalšími kroky (krok 2 a 3) v procesu jsou podrobná analýza současného stavu na daném letišti a stanovení metod, kterými bude dosaženo cílů. Neméně důležité je i určení jednotlivých milníků a časové náročnosti projektu. Výstupem procesu plánování bude tzv. technický plán. Ten představuje popis a časovou náročnost jednotlivých úkolů, časový plán, atd.

6.3.2 Proces konstrukce postupů

Proces konstrukce vychází z postupu aplikovaného při návrhu trajektorií přístrojového postupu. Zde je využita jeho podstatná část a začleněna do struktury prezentované metodiky. Vstupy jsou zde závěry učiněné v procesu plánování. Bylo identifikováno 5 kroků procesu (krok 4 – 8), prostřednictvím kterých, na základě cílů, současného stavu a technického plánu, budou navrženy postupy dle požadavků PBN. Součástí procesu je také validace navrhovaných postupů (např. RVT – RNAV Validation Tool). Výstupem procesu je návrh nových nebo upravených postupů PBN s odstupem od překážek v souladu s požadovanou navigační výkonností.

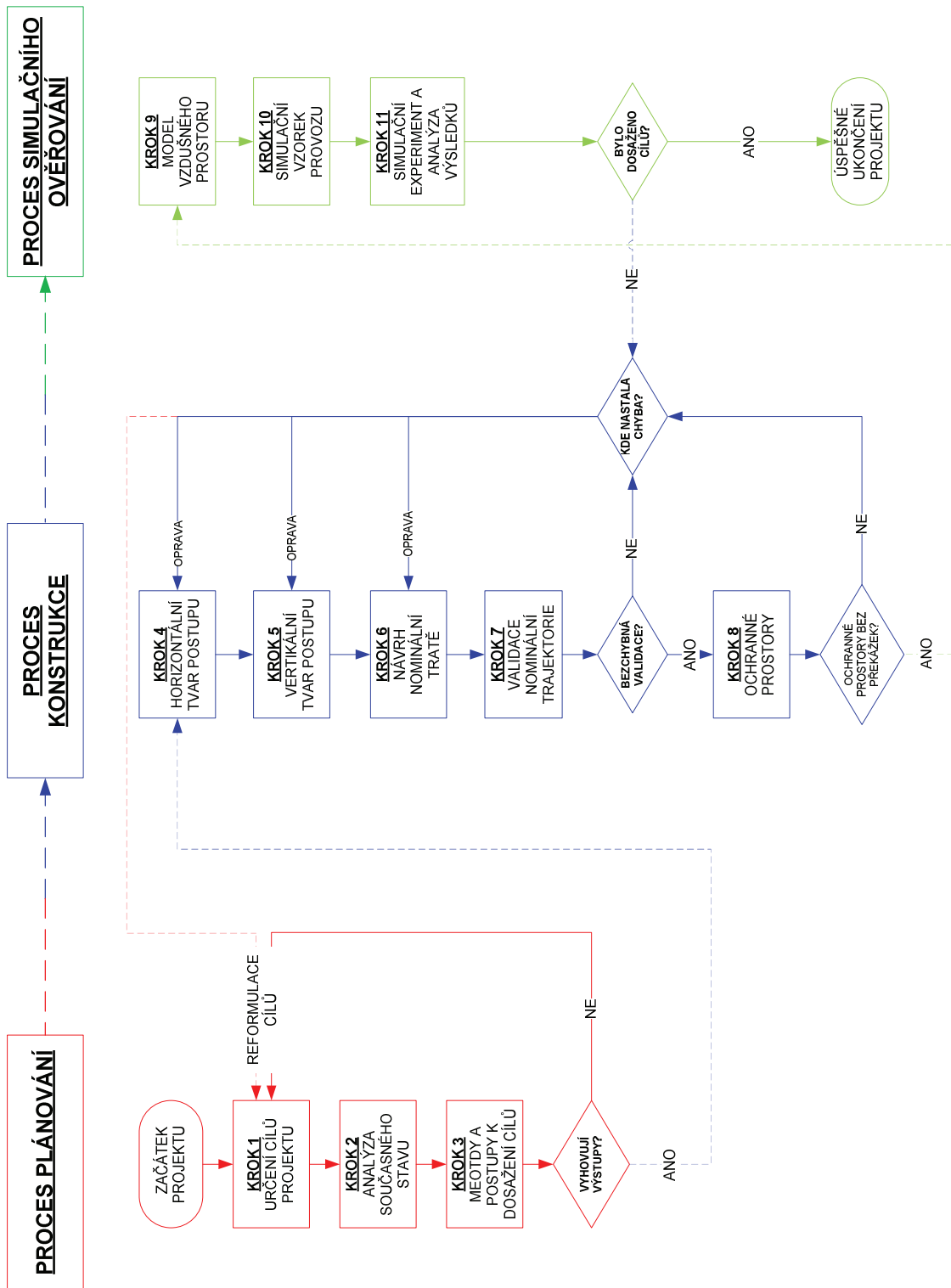
6.3.3 Proces softwarového ověřování navržených změn

Pro účely ověřování navrhovaných změn se zdá být nejvíce vhodné použití tzv. fast – time simulací (FTS). Ty umožňují provedení řady simulačních běhů v krátkém čase s nesrovnatelně nižšími náklady ve srovnání s letovým ověřováním nebo tzv. real – time simulacemi (RTS). Pro předimplementační fázi je také důležité otestovat

různé varianty a s ohledem na předem stanovené cíle iterativně dospět k výběru té nejuvhodnější. Proces ověřování navrhovaných změn rozdělen do tří kroků (krok 9 – 11). Výstupem je ukončení projektu nebo jeho navrácení do některého z kroků procesu plánování nebo konstrukce.

6.3.4 Metodika pro zavádění PBN – shrnutí

V části 6.3 je naznačen postup při projektu návrhu rekonstrukce postupů na regionálním letišti se zaměřením na zavedení navigace PBN. Postup je uveden formou jednoduché metodiky, jejímž zamýšleným účelem je univerzální použití. Skládá se za tří na sebe navzájem navazujících procesů, které mají projekt přivést od prvních úvah až po návrh tratí s vyhodnocenými provozními dopady. Celý metodický postup znázorňuje vývojový diagram na obr. 6-8.



Obr. 6-8 Schéma metodického postupu pro zavádění PBN

7 ZÁVĚR

Cílem dizertační práce je zpracování projektu zavedení postupů dle požadavků PBN na vybraném regionálním letišti a vyhodnocení dopadů zamýšlené implementace. Teoretickými východisky jsou předpoklady o výhodách koncepce PBN a využití GNSS jako primárního prostředku navigace ve smyslu zvýšené bezpečnosti letu v koncových řízených oblastech a dále zvýšené dostupnosti letišť a také flexibility vzdušného prostoru.

V teoretické rovině lze přínos dizertační práce spatřit v poskytnutí přehledné publikace o problematice zavádění PBN na regionálních letištích a dále v přehledu metod a nástrojů využitých při plánování, konstrukci a ověřování implementace postupů PBN. Práce může být také teoretickým východiskem pro další akademické práce.

Praktickým přínosem je podrobná studie zavedení postupů PBN na letišti Kunovice, včetně studie dopadů její implementace na obraz provozu. Očekáváme, že nové postupy PBN, tak jak byly navrženy, budou publikovány v jednom z AIRAC cyklů v druhé polovině roku 2015.

V současné době je PBN již neoddiskutovatelnou součástí trendů v letecké navigaci. Nejenže sama osobě poskytuje výhody, o nichž bylo v práci pojednáno, ale také je základem pro další technologie a způsoby efektivnějšího využití vzdušného prostoru. Jmenujme například koncepci Initial - 4D, která kromě přesného vedení letu ve třech osách využívá čtvrtý rozměr, kterým je čas. O PBN se opírá též koncepce Free Route, která je, díky nutnosti zajištění horizontálních rozestupů ve vzdušném prostoru bez publikovaných tratí, založena na vedení letu s vysokou přesností. Na tomto místě bychom mohli uvést mnoho dalších příkladů o využitelnosti PBN, které jsou důkazem o smysluplnosti a důležitosti této koncepce pro civilní letectví.

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] AIRPORT TOOLS, Inc. *AirportTools* [online]. ©2011 [cit. 2013-09-03]. Dostupné z: <http://www.airporttools.com/>
- [2] EUROCONTROL. *Databáze Skyview 2*. 2014. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/articles/skyview2-download-data>
- [3] EUROCONTROL. *Navigation Application & Navaid Infrastructure for the ECAC area up to 2020*. 2. vyd. Brusel, 2008. Dostupné z: <http://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/navigation/nav-application-navaid-infrastructure-strategy-15-may08-agreed-at-scg-8.pdf>
- [4] EUROCONTROL. PBN Approach Map Tool [online]. ©2014 [cit. 2014-07-1]. Dostupné z: <https://extranet.eurocontrol.int/http://prisme-newgis.hq.corp.eurocontrol.int/pbn/>
- [5] EUROCONTROL. *Statistics and forecasts: STATFOR* [online]. ©2014 [cit. 2014-09-10]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/statfor>
- [6] ICAO. Doc 8168. *Procedures for Air Navigation Services - Aircraft Operations: Volume II Construction of Visual and Instrument Flight Procedures*. Fifth edition. Montréal, Quebec: International Civil Aviation Organization, 2006.
- [7] ICAO. Doc 9613. *Manual on Required Navigation Performance (RNP)*. Second Edition. Montréal, Quebec: International Civil Aviation Organization, 1999.
- [8] ICAO. Doc 9613. *Performance-based navigation (PBN) manual*. 4th ed. Montréal, Quebec: International Civil Aviation Organization, 2013. ISBN 978-92-9249-175-8.
- [9] ŘÍZENÍ LETOVÉHO PROVOZU ČR. AIC A 1/12. *Koncepce rozvoje navigačního prostředí České republiky v období do roku 2020*. Jeneč: Letecká informační služba, 2012. Dostupné z: http://lis.rlp.cz/ais_data/www_main_control/frm_cz_aic.htm
- [10] ŘÍZENÍ LETOVÉHO PROVOZU ČR. AIC C 14/12. *Změna požadavků na vybavení RNAV*. Jeneč: Letecká informační služba, 2012. Dostupné z: http://lis.rlp.cz/ais_data/www_main_control/frm_cz_aic.htm
- [11] ŘÍZENÍ LETOVÉHO PROVOZU ČR. AIP ČR. *Letecká informační příručka České republiky*. Jeneč: Letecká informační služba, 2014. Dostupné z: http://lis.rlp.cz/ais_data/www_main_control/frm_cz_aip.htm

- [12] ŘÍZENÍ LETOVÉHO PROVOZU ČR. AIP ČR. *Letecká informační příručka České republiky*. Jeneč: Letecká informační služba, 2014. Dostupné z: http://lis.rlp.cz/ais_data/www_main_control/frm_cz_aip.htm
- [13] ŘÍZENÍ LETOVÉHO PROVOZU ČR. *Výpisy z databázi provozu a radarové výpisy pro LKKU a LKTB*. Brno, 2013.
- [14] 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
- [15] ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ. LETECKÝ PŘEDPIS L 8168. PROVOZ LETADEL - LETOVÉ POSTUPY. Praha: Ministerstvo dopravy České republiky, 2006. Dostupné z: <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>. Uveřejněno pod číslem jednacím: 946/2006-220-SP/1., poslední změna: 2014-11-13.
- [16] VESELÝ, Petr. Návrh přiblížení APV/SBAS pro letiště Kunovice. In: *Perner's Contacts* [online]. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2013 [cit. 2014-05-20]. ISSN 1801-674x. Dostupné z: <http://pernerscontacts.upce.cz/archiv.htm>
- [17] VESELÝ, Petr. New PBN procedures for Kunovice airport computer simulation. In: *Perner's Contacts* [online]. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2014 [cit. 2014-11-11]. ISSN 1801-674x. Dostupné z: <http://pernerscontacts.upce.cz/archiv.htm>
- [18] VESELÝ, Petr. Regional airport airspace redesign supported by GNSS and RNAV procedures. In: *Research bulletin* [CD]. Brno, 2012. ISSN 1425-2104.
- [19] VESELÝ, Petr. RNAV procedures computer validation. In: *New trends in civil aviation 2013*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, s. 102-104. First edition, 150. ISBN 978-80-7204-843-4.
- [20] VESELÝ, Petr. Study of new RNAV STARs on runway 03C at the Kunovice airport. In: *Sborník příspěvků mezinárodní konference Zvyšovanie bezpečnosti a kvality v civilnom a vojenskom letectve 2012*. Žilina: EDIS - Vydavateľství ŽUŽ, 2012, s. 244-250. ISBN 978-80-554-0519-3.

AUTOROVO CV

Osobní údaje: Jméno: Petr Veselý
Narozen: 13. 6. 1983 Vrchlabí
Bydliště: Horská 203, Horní Maršov, 54226
Email: pet.vesely@seznam.cz
Státní příslušnost: Česká republika

Dosažené vzdělání

2008 – dosud: VUT Brno, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav, Odbor leteckého provozu, doktorské studium (téma disertační práce: Zavedení postupů navigace podle požadavků PBN na regionálním letišti)

2002 – 2008: ČVUT Praha, Fakulta dopravní, magisterské studium v oboru Provoz a řízení letecké dopravy (titul inženýr)

1998-2002: Jiráskovo gymnázium Trutnov (maturita)

Zaměstnání

2013 – dosud: R&D Scientist II – Honeywell Advanced Technology

2006 – 2012: Ramp supervisor – Letiště Praha, a.s, Handling - Ramp Control

Vědeckovýzkumná činnost

Spolunavrhovatel juniorského projektu FSI-J-12-1758 Nové technologie a postupy pro udržitelnost leteckého provozu IFR na regionálním letišti, zahájení vypracování: 30. 5. 2012, ukončení: 31. 12. 2012

Pracovník projektu MD ČR č. CG 941-056-220 Návrh informační báze provozních předpisů CL a realizace mezinárodních požadavků na vzdělávání leteckého personálu, zahájení vypracování: 1. 1. 2009, ukončení: 31. 12. 2009

Pedagogická činnost

Vedení diplomových a bakalářských prací

Účast na konferencích a seminářích

READ (Research and Education in Aircraft Design) 2012, Brno, 28. – 30.6. 2012

39th ESUG (European Simmod Users Group) Meeting, Munich, 26. – 27.4. 2012

New trends in civil aviation 2011, Prague, 26. – 27.9. 2011

READ (Research and Education in Aircraft Design) 2010, Warsaw, 28. – 30.6. 2010

Nové trendy v civilním letectví 2009, Brno, 28. – 29.6 2008

Školení a stáže

PANS – OPS Flight Procedure Design training (Berlín 21. – 24.10 2014)

Implementace postupů CDM – odborná stáž Letiště Praha, a.s. (1.4. – 30.9. 2011)

Jazykové znalosti

Angličtina-aktivní znalost slovem i písmem

Němčina- střední znalost slovem i písmem

ABSTRAKT

Dizertační práce je zaměřena na řešení problematiky postupů v koncových řízených oblastech (TMA) regionálních letišť. Cílem práce je poskytnout komplexní studii možnosti zavedení postupů pro přístrojové přílety, odlety a přiblížení podle požadavků navigace založené na výkonnosti (PBN) na vybraném regionálním letišti v ČR (letišťe Kunovice). Součástí práce je simulační ověření dopadů navrhovaných změn na provoz v TMA Brno a CTR Kunovice. Závěrečná část práce je věnována sestavení jednoduché metodiky, která popisuje proces při návrzích postupů PBN a jejich následném ověřování.

ABSTRACT

The thesis focuses on issues of the procedures in the terminal manoeuvring area (TMA) at regional airports. The goal is to provide a complex study of possible implementation of instrumental arrivals, departures and approaches on the basis of the requirements of the Performance Based Navigation (PBN) at a particular regional airport in the Czech Republic (Kunovice airport). The simulative evaluation of the operational impacts caused by the suggested changes in TMA Brno and CTR Kunovice is also a part of the thesis. The last section is focused on providing a generic methodology describing the process of design and evaluation of PBN procedures.