

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta dopravní

Ústav letecké dopravy

Hodnocení bezpečnosti přiblížení

(diplomová práce)

Vedoucí práce: Ing. Jakub Kraus, Ph.D.

Student: Bc. Karel Svoboda

2017

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

d ě k a n

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K621 **Ústav letecké dopravy**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Karel Svoboda

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – PL – Provoz a řízení letecké dopravy

Název tématu (česky): **Hodnocení bezpečnosti přiblížení**

Název tématu (anglicky): **Safety Assessment of the Approach Segment**

Zásady pro vypracování

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

- Úroveň bezpečnosti zajištěná legislativou
- Metody pro hodnocení bezpečnosti přiblížení
- Navržení upraveného způsobu přiblížení
- Zhodnocení bezpečnosti upraveného způsobu přiblížení
- Porovnání cílové a současné bezpečnosti



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího diplomové práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Clarence C. Rodrigues, Stephen K. Cusick - Commercial Aviation Safety
Letecké předpisy řady L
EUR RNP APCH Guidance Material (EUR Doc 025)

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jakub Kraus, Ph.D.**
Ing. Peter Vittek, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: **30. července 2015**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **30. listopadu 2017**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia




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


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

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.


Bc. Karel Svoboda
jméno a podpis studenta

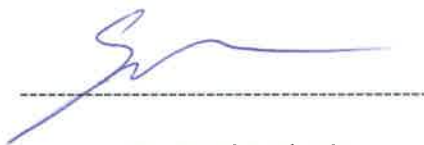
V Praze dne..... 30. června 2017

Prohlášení

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

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

V Praze dne 29. listopadu 2017

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized 'K' and 'S', is written over a horizontal dashed line.

Bc. Karel Svoboda

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Jakubu Krausovi, Ph.D. za cenné rady a trpělivost během zpracování mé diplomové práce. Touto cestou bych také rád poděkoval své rodině za podporu během mého vysokoškolského studia.

Abstrakt

Autor:	Bc. Karel Svoboda
Vysoká škola:	České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní
Název práce:	Hodnocení bezpečnosti přiblížení
Vedoucí práce:	Ing. Jakub Kraus, Ph.D.
Rok obhajoby:	2017
Počet stran:	102

Diplomová práce řeší problematiku hodnocení provozní bezpečnosti přiblížení na přistání. Cílem práce je návrh nové metody hodnocení bezpečnosti přiblížení, která je založená na jiných parametrech, než je analýza leteckých nehod. Kromě návrhu nové metody hodnocení bezpečnosti přiblížení obsahuje práce také ukázkou aplikace této metody na novém druhu přiblížení na přistání. Výsledkem této práce je i určení bodů, které je třeba rozvíjet, pro další zvyšování úrovně provozní bezpečnosti.

Klíčová slova: letecká doprava, provozní bezpečnost, přiblížení, let podle přístrojů, hodnocení bezpečnosti

Abstract

Author: Bc. Karel Svoboda
University: Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences
Name of thesis: Safety Assessment of the Approach Segment
Supervisor: Ing. Jakub Kraus, Ph.D.
Year of publication: 2017
Number of pages: 102

This master thesis deals with the problem of evaluating the level of safety of the final approach segment. The aim of this work is to propose a new method of evaluating safety of the final approach segment, which is based on different parameters, than analysing aircraft accidents. In addition to the proposal of a new method for evaluating safety, the thesis contains an example of an application of this method on a new type of instrument approach. The result of this thesis is also the determination of the points to be developed for further improvement of the level of safety.

Keywords: air transport, safety, final approach, flight according to instruments, safety assessment

Obsah

Seznam tabulek.....	11
Seznam obrázků.....	13
Seznam použitých zkratk 14	14
Úvod.....	17
1. Přiblížení na přistání	19
1.1. Úseky přiblížení na přistání	20
1.1.1. Ochranný prostor.....	20
1.1.2. Příletová trať.....	22
1.1.3. Úsek počátečního přiblížení.....	22
1.1.4. Úsek středního přiblížení	23
1.1.5. Úsek konečného přiblížení.....	23
1.1.6. Úsek nezdařeného přiblížení	23
1.2. Druhy přiblížení	24
1.2.1. Přesné přiblížení	24
1.2.2. Přiblížení s vertikálním vedením.....	25
1.2.3. Nepřesné přístrojové přiblížení	26
1.2.4. Současný přístup v klasifikaci druhů přiblížení	27
1.3. Současný a budoucí vývoj IFR přiblížení.....	28
2. Úroveň bezpečnosti zajištěná legislativou.....	33
2.1. Tři vrstvy regulace bezpečnosti.....	33
2.1.1. Mezinárodní (globální) vrstva	33
2.1.2. Regionální vrstva.....	34
2.1.3. Národní regulační vrstvy	35
2.2. Přijatelná úroveň bezpečnosti	36
2.3. Dodržování leteckých předpisů.....	36
2.4. Dohled nad úrovní bezpečností	37
2.5. Systém řízení bezpečnosti a bezpečnostní plánování.....	39
2.5.1. Bezpečnostní cíle	39
2.5.2. Bezpečnostní indikátory	39
2.6. Předpisy týkající se bezpečnosti přiblížení.....	39
2.6.1. Letecký předpis L8168 (Doc 8168 ICAO).....	40
2.6.2. Letecký předpis L4444 (Doc 4444 ICAO).....	40

2.6.3.	Letecký předpis L19 (ICAO Annex 19).....	41
2.7.	Úroveň provozní bezpečnosti v letectví.....	41
2.7.1.	Úroveň bezpečnosti mezi jednotlivými státy.....	41
2.7.2.	Úroveň bezpečnosti mezi jednotlivými druhy leteckého provozu	42
2.7.3.	Úroveň bezpečnosti číslem	42
3.	Metody hodnocení bezpečnosti užívané v letecké dopravě	43
3.1.	Metody pro posouzení rizik a provozní bezpečnosti letadel a řízení letového provozu	45
3.1.1.	Fault Tree Analyses - FTA.....	46
3.1.2.	Common Cause Analyses - CCA	47
3.1.3.	Event Tree Analyses - ETA.....	47
3.2.	Metoda pro posouzení rizik srážky letadel [20]	48
3.2.1.	Reich-Marks Model.....	49
3.3.	Metoda pro posouzení rizik vlivu lidského faktoru [20]	50
3.4.	Metoda pro hodnocení rizika poškození třetích stran [20]	50
3.5.	Řízení bezpečnosti.....	51
4.	Návrh metody hodnocení provozní bezpečnosti přiblížení.....	52
4.1.	Popis metody.....	52
4.2.	Kroky k určení hodnoty bezpečnosti přiblížení.....	54
4.2.1.	Hodnocené vstupy a analýza jejich významu	54
4.2.2.	Kvantifikace a vážení.....	55
4.2.3.	Číselné vyhodnocení	56
4.2.4.	Posouzení a srovnání	56
4.2.5.	Rozhodnutí a omezení	56
4.2.6.	Úroveň bezpečnosti	57
4.2.7.	Monitorování dat z reálného provozu	57
4.3.	Hodnocené prvky a zdroje dat	58
4.3.1.	Měřitelné prvky.....	58
4.3.2.	Neměřitelné prvky	59
4.3.3.	Zdroje dat.....	62
5.	Výpočet úrovně bezpečnosti metodou SLEH.....	63
5.1.	Měřitelné veličiny s rozměrem	63
5.2.	Veličiny bez rozměru	71
5.3.	Váha prvku z hlediska celkové úrovně bezpečnosti.....	78
5.4.	Rovnice pro hodnotu úrovně bezpečnosti.....	81
5.5.	Aplikace metody pro výpočet hodnoty úrovně bezpečnosti	81

6.	Přiblížení RNP AR a aplikace metody SLEH	84
6.1.	RNP AR APCH.....	84
6.2.	Požadavky na konstrukci tratí RNP AR APCH	86
6.3.	Požadavky RNP AR APCH z hlediska PBN [24].....	90
6.3.1.	Výcvik řídicích letového provozu	91
6.3.2.	Výcvik posádek.....	91
6.3.3.	Oprávnění provozovatele a posádek pro využívání RNP AR APCH.....	91
6.3.4.	Provozní postupy	91
6.3.5.	Vybavení letadla.....	92
6.4.	Aplikace metody SLEH pro určení hodnoty úrovně bezpečnosti přiblížení RNP AR	94
7.	Návrhy pro zvýšení úrovně provozní bezpečnosti a srovnání současné a cílové úrovně provozní bezpečnosti.....	97
7.1.	Návrhy pro zvýšení úrovně provozní bezpečnosti	97
7.2.	Srovnání současné a cílové úrovně provozní bezpečnosti.....	98
	Závěr	99
	Použité zdroje	100

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Kategorie ILS přiblížení.....	25
Tabulka 2 - Navigační specifikace pro různé fáze letu [7]	29
Tabulka 3 - Vzorové hodnoty pro prvek délka dráhy.....	64
Tabulka 4 – Vzorové hodnoty pro prvek šířka dráhy.....	64
Tabulka 5 - Vzorové hodnoty pro prvek rychlost v úseku konečného přiblížení.....	65
Tabulka 6 - Vzorové hodnoty pro prvek šířka ochranného prostoru	65
Tabulka 7 - Vzorové hodnoty pro prvek úhel sestupu.....	67
Tabulka 8 - Vzorové hodnoty pro prvek MOC / HL.....	67
Tabulka 9 – Hodnoty HL dle kategorie letadla.....	68
Tabulka 10 – Vzorové hodnoty pro prvek výška rozhodnutí	68
Tabulka 11 – Vzorové hodnoty pro prvek zakřivení	69
Tabulka 12 – Hodnoty zadní složky větru	70
Tabulka 13 – Vzorové hodnoty pro prvek počet pohybů	71
Tabulka 14 - Hodnoty parametru pro prvek kvality vedení v horizontální rovině	71
Tabulka 15 - Hodnoty parametru pro prvek kvality vedení ve vertikální rovině.....	72
Tabulka 16 – Hodnoty pro výpočet parametru prvku světelná soustava	73
Tabulka 17 - Vzorové hodnoty pro prvek světelná soustava.....	73
Tabulka 18 – Hodnoty parametru prvku automatický let	74
Tabulka 19 – Hodnoty parametru prvku flight director	74
Tabulka 20 – Hodnoty parametru prvku EFIS.....	74
Tabulka 21 - Hodnoty parametru prvku palubní protisrážkový systém	75
Tabulka 22 - Hodnoty parametru prvku systém varování před blízkostí terénu.....	75
Tabulka 23 – Hodnoty parametru prvku radiovýškoměr	76
Tabulka 24 – Hodnoty parametru prvku SVS, EVS systémy	77
Tabulka 25 – Hodnoty parametru prvku průhledový displej.....	77
Tabulka 26 – Hodnoty parametru prvku palubní meteorologický radar.....	77
Tabulka 27 – Hodnoty parametru prvku složení posádky letadla	78
Tabulka 28 – Hodnoty parametru prvku speciální výcvik pro přiblížení	78
Tabulka 29 - Hodnoty parametru prvku radarové vybavení stanoviště ATC.....	78

Tabulka 30 – Příčiny nehod [21]	79
Tabulka 31 – Váhy prvků.....	80
Tabulka 32 - Parametry pro přiblížení ILS Rwy 24 (B737-800)	82
Tabulka 33 - Specifikace RNP pro úseky přiblížení RNP AR	87
Tabulka 34 - Rychlostní omezení RNP AR APCH (*dle samostatné specifikace)	88
Tabulka 35 – Omezení úhlu náklonu	88
Tabulka 36 - Parametry pro přiblížení RNAV (RNP) E Rwy 16 (B737-800)	94

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Úseky přístrojového přiblížení [2]	20
Obrázek 2 - Průřez tratí s primárním a sekundárním vzdušným prostorem [3].....	21
Obrázek 3 – Dělení přiblížení podle ICAO [5].....	28
Obrázek 4 - SVS zobrazený na avionice Garmin G1000 [10].....	31
Obrázek 5 - CVS systém na letadle Dassault Falcon 2000 [13]	32
Obrázek 6 - Procento fatálních nehod a obětí nehod v různých fázích letu [18]	44
Obrázek 7 - Příklad užití metody FTA pro hodnocení rizika nehody v křižovatce [19] ..	47
Obrázek 8 - Diagram metody hodnocení bezpečnosti přiblížení (zdroj: autor práce) ..	53
Obrázek 9 - Přibližovací mapa ILS Rwy 24 LKPR [22]	83
Obrázek 10 - Zobrazení ochranného prostoru tratí RNP AR APCH [23]	87
Obrázek 11 – FROP [23]	90
Obrázek 12 - Přibližovací mapa RNAV (RNP) E Rwy 16 LOWW [25]	96

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Anglický význam	Český význam
AFM	Aircraft Flight Manual	Letová příručka
AGL	Above Ground Level	Nad úrovní země
AIP	Aeronautical Information Publication	Letecká informační příručka
APV	Approach Procedure with Vertical Guidance	Postup přiblížení s vertikálním vedením
ATC	Air Traffic Control	Řízení letového provozu
ATM	Air Traffic Management	Řízení a uspořádání letového provozu
ATO	Approved Training Organisation	Schválené organizace pro výcvik
ATS	Air Traffic Services	Letové provozní služby
AWR	Airborne Weather Radar	Palubní meteorologický radar
CBO	Compliance Based Oversight	Kontrola založená na dodržování předpisů
CDFA	Continuous Descent Final Approach	Konečné přiblížení stálým klesáním
CFIT	Controlled Flight Into Terrain	Řízený let do terénu
DA	Decision Altitude	Nadmořská výška rozhodnutí
DH	Decision Height	Výška rozhodnutí
DME	Distance Measuring Equipment	Měřič vzdálenosti
EASA	European Aviation Safety Agency	Evropská agentura pro bezpečnost letectví
EFIS	Electronic Flight Instrument System	System elektronických letových přístrojů
EFSV	Enhanced Flight Vision System	System zvýšené letové dohlednosti
EUROCAE	European Organisation for Civil Aviation Equipment	Evropská organizace pro zařízení v civilním letectví
EUROCONTROL	European Organisation for the Safety of Air Navigation	Evropská organizace pro bezpečnost leteckého provozu
EVS	Enhanced Vision System	System zvýšené dohlednosti
FAF	Final Approach Fix	Fix konečného přiblížení
FAP	Final Approach Point	Bod konečného přiblížení
FCOM	Flight Crew Operating Manual	Letová příručka pro posádku
FMS	Flight Management System	System řízení a optimalizace letu
FPL	Flight Plan	Letový plán
FROP	Final Approach Roll-Out Point	Bod srovnání náklonu v úseku konečného přiblížení
FTA	Fault Tree Analysis	Analýza stromu poruchových stavů

GBAS	Ground Based Augmentation System	Pozemní rozšiřující systém GNSS
GLS	GBAS Landing System	GBAS přistávací systém
GNSS	Global Navigation Satellite System	Globální navigační satelitní systém
GPS	Global Positioning System	Globální systém určení polohy
GPWS	Ground Proximity Warning System	Systém varování před blízkostí terénu
GS	Ground Speed	Rychlost letu vůči zemi
HUD	Head-Up Display	Průhledový displej
IAF	Initial Approach Fix	Fix počátečního přiblížení
IAS	Indicated Airspeed	Indikovaná vzdušná rychlost
ICAO	International Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
IF	Intermediate Fix	Fix středního přiblížení
IFR	Instrument Flight Rules	Pravidla letu podle přístrojů
ILS	Instrument Landing System	Systém pro přesné přiblížení a přistání
IMC	Instrument Meteorological Conditions	Podmínky pro let podle přístrojů
IRU	Inertial Reference Unit	Inerční referenční jednotka
ISA	International Standard Atmosphere	Mezinárodní standardní atmosféra
JAA	Joint Aviation Authorities	Spojené letecké úřady
LOC	Localizer	Kurzový maják ILS
MAPt	Missed Approach Point	Bod nezdařeného přiblížení
MEL	Minimum Equipment List	Minimální seznam vybavení
MFA	Minimum Flight Altitude	Minimální letová nadmožská výška
MLS	Microwave Landing System	Mikrovlnný přistávací systém
MOC	Minimum Obstacle Clearance	Minimální výška nad překážkami
NAT-OTS	North Atlantic Organized Track System	Organizovaný systém tratí přes severní Atlantik
NDB	Non Directional Beacon	Nesměrový maják
NPA	Non Precision Approach	Nepřesné přístrojové přiblížení
OCH	Obstacle Clearance Height	Bezpečná výška nad překážkami
PANS-ATM	Procedures for Air Navigation Services – Air Traffic Management	Postupy pro letové navigační služby – uspořádání letového provozu
PANS-OPS	Procedures for Air Navigation Services – Aircraft Operations	Postupy pro letové navigační služby – letové postupy
PAR	Precision Approach Radar	Přesný přibližovací radar
PBN	Precision Based Navigation	Navigace založená na výkonnosti
PBO	Performance Based Oversight	Kontrola založená na výkonnosti
PFD	Primary Flight Display	Primární letový displej

QAR	Quick-Access Recorder	Provozní zapisovač letových údajů
RNAV	Area Navigation	Prostorová navigace
RNP	Required Navigation Performance	Požadovaná navigační výkonnost
RNP AR APCH	Required Navigation Performance Authorization Required Approach	Přiblížení s požadovanou navigační výkonností a požadovaným povolením
RVR	Runway Visual Range	Dráhová dohlednost
RVSM	Reduced Vertical Separation Minima	Snížené minimum vertikálního rozstupu
SBAS	Satellite Based Augmentation System	Družicový rozšiřující systém GNSS
SMM	Safety Management Manual	Manuál řízení bezpečnosti
SMS	Safety Management System	System řízení bezpečnosti
SRE	Surveillance Radar Approach	Přiblížení pomocí přehledového radaru SRE
SVS	Synthetic Vision System	System syntetického vidění
TAS	True Airspeed	Pravá vzdušná rychlost
TCAS	Traffic Alert and Collision Avoidance System	Palubní protisrážkový systém
TMA	Terminal Maneuvering Area	Koncová řízená oblast
VFR	Visual Flight Rules	Pravidla letu za viditelnosti
VOR	VHF Omni-directional Range	VKV všesměrový maják
VPA	Vertical Path Angle	Úhel sestupu tratě

Úvod

Neustálý nárůst objemu letecké dopravy, rozšiřování nových postupů založených na GNSS a tlak dopravců na maximální efektivitu letecké dopravy klade nové nároky na všechny zúčastněné složky na neustálé zvyšování provozní bezpečnosti.

V současné době je provozní bezpečnost v letectví zajištěna především předpisy. Předpisy, pokud jsou dodržovány, zajišťují uspořádaný a bezpečný provoz. Obecně se udává, že dostatečná míra bezpečnosti je taková, že člověk, který se účastní letecké přepravy, by neměl být ohrožen na životě více, než v běžném životě. Otázkou ovšem je, jak moc je člověk ohrožen v běžném životě a co vlastně počítáme do tohoto pojmu. Statistiky udávají, že aktuální hodnota úrovně bezpečnosti je 1×10^{-7} , což představuje jednu vážnou nehodu na deset milionů letů. Úroveň bezpečnosti však není určena jen statistikou vážných nehod, tedy takových, při kterých dojde k úmrtí nebo ztrátě letadla. Pokud by úroveň bezpečnosti měla být skutečně určena hodnocením incidentů v letecké dopravě, bylo by potřeba zohlednit všechny faktory, které mají vliv na bezpečnost. Analýza zahrnující všechny události mající vliv na provozní bezpečnost, by byla velmi složitá a bez důkladné analýzy souvislostí by vypovídající hodnota příliš vysoká nebyla. Vhodné by bylo hodnotit bezpečnost letecké dopravy způsobem, který provozní bezpečnost nekvantifikuje z hlediska počtu nehod a incidentů na určitý počet letů nebo letových hodin.

Cílem diplomové práce je navrhnout vhodnou metodu hodnocení bezpečnosti přiblížení na přistání a zvolenou metodu aplikovat. Úsek přiblížení na přistání je zvolen z toho důvodu, že se jedná statisticky o nejrizikovější část letu. Letadlo se přibližuje k zemi, snižuje svoji rychlost a mění se konfigurace, což zvyšuje nároky na přesnost pilotáže a tedy pracovní zátěž pilotů. Zároveň je přiblížení na přistání oblast, kde se v posledních letech odehrávají nejvýznamnější změny ve smyslu zavádění nových letových postupů, především s využitím GNSS.

V první části práce budou rozebrány teoretické základy o přiblížení na přistání a úroveň bezpečnosti, která je v současnosti zajištěna legislativou. Druhá část práce bude zkoumat vhodné metody pro hodnocení bezpečnosti použitelné na ohodnocení

samotného přiblížení. Ve třetí a poslední části diplomové práce bude navrhnutá nová metoda hodnocení provozní bezpečnosti. Nová metoda hodnocení bude demonstrována na jednom z nových druhů přiblížení a výsledná úroveň bezpečnosti tohoto přiblížení bude srovnána s úrovní bezpečnosti nejrozšířenějšího druhu přiblížení - ILS přiblížení.

1. Přiblížení na přistání

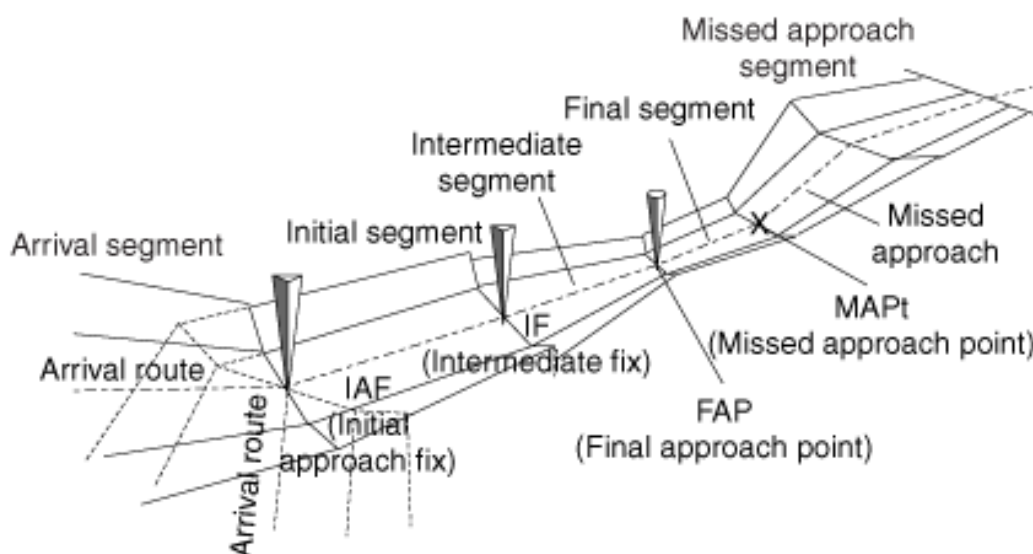
Přiblížení na přistání je závěrečná fáze letu, která slouží k přivedení letadla z traťového letu bezpečně zpět na zem. Přiblížení patří mezi nejsložitější fáze letu. Ve srovnání s traťovým letem je nutné mnohem výrazněji měnit výkon, rychlosti, směr a výšku letu. V letectví rozeznáváme dva druhy pravidel letu letadla – VFR (Visual Flight Rules) a IFR (Instrument Flight Rules). Podle těchto pravidel se rozlišuje, jak bude pilot provádět přiblížení. Pokud letadlo letí dle pravidel letu za viditelnosti (VFR), srovnává pilot skutečnou trať letu se zakreslenou tratí v mapě a provádí korekce ve směru letu na základě vjemů, které získá pozorováním ven z kabiny. Přesnost navigace závisí na kvalitě a měřítku map používaných pilotem, ale ve významné míře i na zkušenostech pilota, jeho soustředěnosti během letu a mnoha dalších faktorech. Úspěšné provedení letu a přiblížení dle pravidel VFR je značně závislé na meteorologické situaci. Během letu dle pravidel VFR je pilot odpovědný za rozstupy od překážek, a pokud nebudeme uvažovat vzdušný prostor třídy B, i za rozstupy od ostatního provozu.

Let podle pravidel IFR je let, kdy pilot pro vedení letadla po trati využívá informace z palubních přístrojů. Let podle pravidel letu podle přístrojů (IFR) je možné vykonat během zhoršené viditelnosti v mlze a v oblačnosti. Pilot během letu vyhodnocuje okamžitou polohu letadla podle odchylek zobrazených na přístrojích v kokpitu a provádí korekce ve směru a výšce letu. Přesnost vedení letadla závisí na mnoha faktorech a bude rozebrána v samostatné podkapitole. Během letu dle pravidel IFR je pilot, mimo situace kdy je radarově vektorován, zodpovědný za rozstup od překážek. V závislosti na třídě vzdušného prostoru je zodpovědný za rozstup od ostatního provozu pilot nebo řídicí letového provozu. Přiblížení na přistání je závěrečná fáze letu podle přístrojů, kdy je letadlo vedeno po publikované trajektorii, která umožňuje letadlu bezpečně klesat a dostat se do takové výšky a vzdálenosti od přistávací dráhy, aby měl pilot co největší šanci získat vizuální kontakt a provést přistání. Přiblížení na přistání je rozděleno na několik po sobě jdoucích úseků (většinou pět), během kterých se mění charakter letu a zmenšuje se rozstup od překážek.

1.1. Úseky přiblížení na přistání

Let IFR umožňuje pilotovi vedení letadla po trati jen pomocí palubních přístrojů a přestože tomu často tak není, předpokládá se, že letadlo letí celou dobu v oblačnosti. Pilot tak musí být schopen v každé chvíli určit svoji polohu pomocí radionavigace. S jakou přesností dokáže pilot určit svoji polohu a tím i vést letadlo po trati závisí na přesnosti použitého radionavigačního vybavení. Nejkritičtější je pak radionavigační zařízení použité pro vedení letadla na trati konečného přiblížení, kdy se letadlo dostává do značné blízkosti země a překážek.

Přiblížení podle přístrojů se skládá z pěti úseků – příletová trať, počáteční přiblížení, střední přiblížení, konečné přiblížení a nezdařené přiblížení. Ve všech zatáčkách na trati přiblížení se počítá s náklonem letadla 25° s výjimkou úseku nezdařeného přiblížení a postupu při vysazení motoru. V těchto případech se počítá s náklonem 15° . [1]

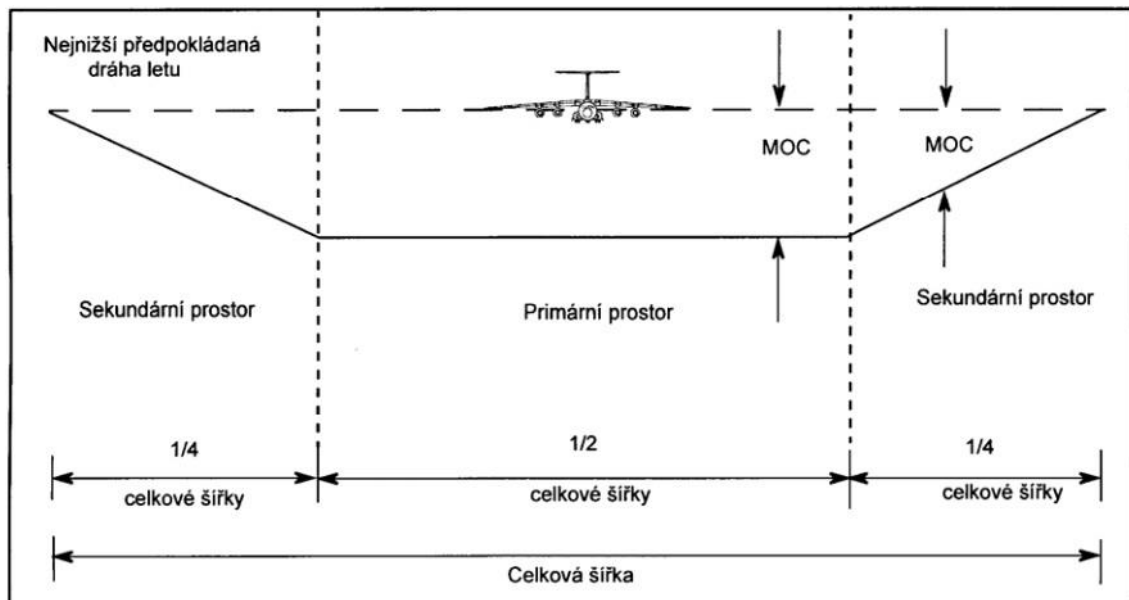


Obrázek 1 - Úseky přístrojového přiblížení [2]

1.1.1. Ochranný prostor

Letadlo letící dle pravidel IFR se pohybuje po vymezené a publikované trati a za předpokladu, že se letadlo celou dobu pohybuje v oblačnosti, nemá pilot k dispozici žádnou vizuální referenci o svoji poloze. Je proto nezbytné, aby letadlo mělo zajištěno určitý ochranný prostor od překážek. Minimální letová výška (MFA – Minimum Flight

Altitude) chrání od všech překážek na zemi a jelikož je přesnost vedení na trati různá v závislosti na využívaném radionavigačním zařízení, přesnosti navigačního vybavení letadla a přesnosti pilotáže pilota, je nutné, aby byla ochrana od překážek zajištěna i v určité šířce, kterou nazýváme ochranným prostorem. Ochranný prostor se rozděluje na primární a sekundární, jelikož neexistuje stejná pravděpodobnost výskytu letadla v celé šířce ochranného prostoru a je proto výhodnější mít ochranný prostor rozdělen na čtvrtiny. [1] V prostředních dvou čtvrtinách je zajištěna maximální výška nad překážkami (MOC) a v krajních dvou čtvrtinách se MOC snižuje k nule. Takové uspořádání nám umožní nejnižší možnou minimální letovou výšku (MFA – Minimum Flight Altitude).



Obrázek 2 - Průřez tratí s primárním a sekundárním vzdušným prostorem [3]

Primární a sekundární ochranný prostor se uplatňuje pouze v následujících fázích letu:

- Příletová trať (u všech druhů přiblížení)
- Úsek počátečního přiblížení (u všech druhů přiblížení)
- Úsek středního a konečného přiblížení (pouze u 2D přiblížení)
- Odletové tratě s radionavigačním vedením

U ostatních fází přiblížení (úsek středního a konečného přiblížení u 3D přiblížení, úsek nezdařeného přiblížení, předpisová zatáčka) je ochranný prostor chápán jako primární v celé šířce.

1.1.2. Příletová trať

Příletová trať umožňuje přechod letadla z traťového letu na fázi přiblížení. Většinou začíná na traťovém fixu nebo radionavigačním zařízení a končí v bodě počátečního přiblížení IAF (Initial Approach Fix). Příletové tratě umožňují řídicímu letového provozu zajistit separaci letadel přilétávajících z různých směrů a pokyny omezovat rychlost a výšku a tím si provoz řadit na přiblížení.

Na příletových tratích je aplikován, podobně jako na letových tratích, primární a sekundární ochranný prostor pro zajištění rozstupů od překážek. Celková šířka ochranného prostoru je 10NM a MOC v primárním ochranném prostoru je 1000 stop. V sekundárním ochranném prostoru se MOC snižuje z 1000 stop na vnitřní hranici až do 0 stop na vnější hranici.

1.1.3. Úsek počátečního přiblížení

Úsek počátečního přiblížení začíná v bodě IAF (Initial Approach Fix) a končí v bodě IF (Intermediate Fix). Bod IF je již na trati konečného přiblížení. Význam úseku počátečního přiblížení je tedy přivedení letadla z příletové tratě na trať konečného přiblížení a letadlo během standardního úseku počátečního přiblížení vykoná poslední zatáčky během přiblížení na přistání. V celé délce úseku počátečního přiblížení je aplikován primární a sekundární ochranný prostor a to i v průběhu zatáček s výjimkou předpisové zatáčky. V předpisové zatáčce je celý ochranný prostor chápán jako primární. Šířka ochranného prostoru je 10 NM a MOC je 1000 stop. Ochranný prostor úseku středního přiblížení má tedy stejné parametry, jako ochranný prostor příletové tratě.

Součástí úseku počátečního přiblížení může být také některý z manévrů, umožňující letadlu dostat se na trať přiblížení, které je v opačném směru, než je příletová trať. Jedná se o předpisovou zatáčku (procedure turn), základní zatáčku (base turn) a postup racetrack.

1.1.4. Úsek středního přiblížení

Jak již bylo napsáno v předchozím odstavci, úsek středního přiblížení se u standardního uspořádání přiblížení již nachází na trati konečného přiblížení. Úsek středního přiblížení začíná v IF (Intermediate Fix) a končí ve FAF (Final Approach Fix) nebo FAP (Final Approach Point) a měl by sloužit především k snížení rychlosti letadla a jeho konfiguraci pro klesání v úseku konečného přiblížení. Předpokládá se, že letoun bude v plné přistávací konfiguraci (klapky pro přistání, vysunutý podvozek) před nalétnutím FAF. V praxi však letecké společnosti často používají rozdílné postupy a plná konfigurace letadla pro přistání probíhá až během sestupu, ve fázi konečného přiblížení. [1] Ochranný prostor úseku středního přiblížení se skládá z primárního a sekundárního ochranného prostoru, avšak oproti úseku počátečního přiblížení je zde snížena MOC. V primárním prostoru je MOC snížena na 500 stop a v sekundárním prostoru se snižuje z 500 stop na vnitřní hranici až do 0 stop na vnější hranici. Šířka ochranného prostoru se od fixu středního přiblížení, kde je celková šířka ochranného prostoru 10NM, plynule snižuje až do šířky odpovídající ochrannému prostoru příslušného druhu přiblížení. Šířka ochranného prostoru se tak bude lišit dle použitého radionavigačního zařízení a bude jiná i v případě využití satelitní navigace.

1.1.5. Úsek konečného přiblížení

Závěrečná fáze letu, kdy letadlo klesá na přistání, se nazývá úsek konečného přiblížení. Pilot může klesat až do výšky rozhodnutí (DH) a pokud získá vizuální kontakt s dráhou nebo s předepsanou částí světelné přiblížovací soustavy, může pokračovat v přistání. Pokud vizuální kontakt nezíská, musí pilot zahájit postup nezdařeného přiblížení. Pro upřesnění je třeba uvést, že uvažujeme konečné přiblížení stálým klesáním (CDFA). V takovém případě se bod, kde pilot dosáhne výšky rozhodnutí (DH), nachází ve stejném místě, jako bod nezdařeného přiblížení (MAPt). Úsek konečného přiblížení tedy začíná v bodě FAF nebo bodě FAP a končí v bodě MAPt. Jednotlivé druhy přiblížení budou rozebrány v samostatné podkapitole diplomové práce.

1.1.6. Úsek nezdařeného přiblížení

Úsek nezdařeného přiblížení je trať, kterou musí pilot dodržet, pokud se mu do dosažení bodu MAPt nepodaří získat potřebný vizuální kontakt s dráhou (nebo světelnou soustavou) a zahájí postup nezdařeného přiblížení. Pracovní zátěž pilota je

během postupu nezdařeného přiblížení vysoká, jelikož musí změnit výkon, převést letadlo z klesání do stoupání a následně měnit konfiguraci letadla pro stoupání. Z tohoto důvodu bývají postupy pro nezdařené přiblížení navrženy tak, aby byly co možná nejjednodušší. Ochranný prostor úseku nezdařeného přiblížení přímo záleží na druhu přiblížení, pro které je navrženo, ale obecně lze konstatovat, že bude tím užší, čím kvalitnější je zařízení využité pro přiblížení.

1.2. Druhy přiblížení

Cílem přístrojového přiblížení na přistání je umožnit pilotovi bezpečně dovést letadlo do co možná nejnižší výšky a vzdálenosti od dráhy, aby měl co možná největší šanci získat vizuální kontakt a následně dokončit úspěšně přistání. Je logické, že minimální výška, do které bude moci pilot bezpečně klesat, bude přímo úměrná kvalitě zařízení, použité k vedení letadla v úseku konečného přiblížení. Jak uvádí předpis L8168 „Konstrukce postupu přiblížení podle přístrojů je všeobecně určována terénem v okolí letiště, uvažovaným druhem provozu a letadly, kterými bude postup využíván. Tyto faktory zase naopak ovlivňují druh a umístění navigačních prostředků, ve vztahu k dráze nebo k letišti. Omezení vzdušného prostoru může mít také vliv na umístění navigačních prostředků.“[3] Mimo faktory, uvedené v předpise, je dalším faktorem finanční nákladnost na jednotlivé druhy přiblížení. Platí, že se stoupající kvalitou radionavigačního zařízení stoupá i cena. Všechny uvedené faktory pak mají za výsledek fakt, že přestože dnes již máme technologie, umožňující letadlům vykonat plně automatické přistání (pokud je letadlo patřičně vybaveno a posádka vycvičena), nenalezneme je ani zdaleka na všech letištích s přístrojovým přiblížením. Přístrojové přiblížení lze podle starší klasifikace rozdělit na přesné přiblížení, přiblížení s vertikálním vedením, nepřesná přístrojová přiblížení, přiblížení okruhem a vizuální přiblížení.

1.2.1. Přesné přiblížení

Přesné přiblížení je nejdokonalejším druhem přístrojového přiblížení, jelikož poskytuje pilotovi konstantní informaci nejen o jeho poloze v horizontální rovině, ale i ve vertikální rovině. Pilot v každém okamžiku dokáže vyhodnotit jeho okamžitou polohu

vůči sestupové ose, provést korekci a tak v maximální možné kvalitě dodržet tuto osu. Tím, že pilot dokáže v každém okamžiku sestupu vyhodnotit svoji odchylku od sestupové osy, je zajištěna vyšší bezpečnost ve srovnání s ostatními druhy přiblížení. Riziko střetu s překážkami pod sestupovou osou je ve srovnání s nepřesným přiblížením nižší. Mezi přesná přiblížení řadíme ILS (Instrument Landing System), MLS (Microwave Landing System), PAR (Precision Approach Radar), SBAS cat I (LPV-200 (Satellite Based Augmentation System) [4] a GBAS (Ground Based Augmentation System). V současnosti je nejrozšířenějším druhem přesného přiblížení systém ILS (Instrument Landing System). Tento systém lze označit i za nejpřesnější. Existují celkem tři kategorie přiblížení ILS – kategorie I, II a III (označují se CAT I, CAT II a CAT III). Kategorie II a III jsou používány za podmínek nízké dohlednosti, jelikož umožňují dovést letadlo do výrazně nižší výšky a tím zvýšit šance pilota získat vizuální kontakt s dráhou nebo světelnými návěstidly. Nejdokonalejší verze systému ILS umožňují provést přistání v automatickém režimu. Pro úplnost je doplněna tabulka s minimálními výškami rozhodnutí a minimálními požadavky na dráhovou dohlednost.

Tabulka 1 - Kategorie ILS přiblížení

Kategorie ILS	Výška rozhodnutí (DH)	Dráhová dohlednost (RVR)
CAT I	200 ft	550 m
CAT II	100 ft	300 m
CAT III A	50 ft	200 m
CAT III B	< 50 ft	75 m
CAT III C	0 ft	0 m

1.2.2. Přiblížení s vertikálním vedením

Postup přiblížení s vertikálním vedením APV (Approach Procedure with Vertical guidance) je postup přiblížení, kde pilot má k dispozici kontinuální informaci o své poloze vůči sestupové ose v horizontální i vertikální rovině. Existují dva druhy APV přiblížení, které rozlišujeme na základě zdroje vertikálního vedení – APV baro (na přibližovacích mapách značené jako LNAV/VNAV) a APV SBAS (na přibližovacích

mapách značené jako LPV). Jak samotný název napovídá, pro přiblížení APV baro je zdrojem informací pro vertikální vedení barometrický výškoměr a pro vertikální vedení během přiblížení APV SBAS je zdrojem informací zpřesněný signál GPS. Přestože je u přiblížení s vertikálním vedením pilotovi poskytována souvislá informace o poloze v obou rovinách, nejedná se o přesné přiblížení, jelikož kvalita dat pro vertikální navigaci nedosahuje úrovně přesného přiblížení. To je způsobené především chybami výškoměru resp. výkonností satelitní navigace při určování výšky. Zde je třeba upozornit na fakt, že v současnosti již na prvních letištích dochází k zavádění přiblížení označené jako SBAS cat I (LPV-200), které je v principu shodné s APV SBAS, ale je dosaženo kvality přesného přiblížení. Přiblížení s vertikálním vedením APV baro a APV SBAS se tak kvalitou (můžeme říct i úrovní provozní bezpečnosti) řadí mezi přesné a nepřesné přiblížení.

1.2.3. Nepřesné přístrojové přiblížení

Nepřesné přístrojové přiblížení je přiblížení, během kterého má pilot pouze průběžnou informaci o své poloze v horizontální rovině. To znamená, že v každém okamžiku je schopen rozlišit, zda se nachází vpravo nebo vlevo od sestupové osy. Pilot tak při zahájení sestupu musí nastavit vhodnou vertikální rychlost klesání (gradient klesání), která nejlépe odpovídá sestupové ose při dané rychlosti letadla vůči zemi (GS). Ve stanovených fixech nebo jinak stanovených bodech si pak svoji výšku kontroluje a upravuje vertikální rychlost klesání, aby co nejlépe udržel sestupovou osu. Nejčastěji se k určení fixů využívá zařízení DME (Distance Measuring Equipment) a pilot ověřuje svoji výšku na každé celé míli od tohoto zařízení. Odpovídající výška pro každý fix je součástí přibližovací mapy. Takto provedený sestup se pak označuje jako konečné přiblížení konstantním klesáním - CDFA (Continuous Descent Final Approach). Pokud letiště není vybaveno vhodným zařízením pro určení fixů, uplatňují se další dva možné způsoby klesání. První metoda je klesání pod soustavným úhlem a druhá metoda pak technika postupného klesání. Mezi nepřesné přístrojové přiblížení řadíme přiblížení ILS bez elektronické skluzové roviny (ILS – LLZ ONLY), VOR, NDB, RNAV – LNAV (využití GNSS) a SRE.

1.2.4. Současný přístup v klasifikaci druhů přiblížení

Mezinárodní organizace pro civilní letectví v pozměňovacím návrhu 5 dokumentu PANS-ATM (Procedures for Air Navigation Services – Air Traffic Management) modifikuje v současnosti již zastaralé, ale stále velmi často používané, rozdělení druhů přiblížení. Cílem je zjednodušení a zpřesnění rozdělení druhů přiblížení tak, aby lépe popisovaly vlastnosti přiblížení. „Změna zajišťuje, že všechna ustanovení ICAO jsou harmonizována s ohledem na PBN (Performance Based Navigation) a má i další přínos v optimalizaci požadavků na přistávací dráhu ve vztahu ke všem druhům přiblížení.“ [5] Přístup k rozdělení přiblížení z pohledu navigační výkonnosti odstraňuje klasické dělení na přesné přiblížení, přiblížení s vertikálním vedením a nepřesné přiblížení.

Nové rozdělení druhů přiblížení je založené na dvou faktorech:

- Minima
- Způsob letového vedení

Druhy přiblížení jsou rozděleny na dva typy na základě hodnoty výšky rozhodnutí daného postupu.

- **Typ A** – výška rozhodnutí 250 stop nebo více
- **Typ B** - výška rozhodnutí pod 250 stop

Přiblížení jsou dále rozděleny na dva typy podle způsobu letového vedení.

- **2D** – vedení pouze v horizontální rovině
- **3D** – vedení v horizontální i vertikální rovině

Do výše popsaného dělení je možné zahrnout všechny druhy v současnosti užívaných přiblížení. Pro přehled je doplněna kompletní tabulka nového rozdělení přístrojových přiblížení.

ICAO Approach Classification						
Domain	Document	Relationship				
Approach Operations	Annex 6	Classification (based minima)	Type A		Type B	
			(250' or higher)		CAT I (less than 250' & 200' or higher)	CAT II (less than 200' & 100' or higher)
		Method	2D	3D		
		Minima	MDA/H	DA/H*		
Approach Runways	Annex 14	M(DA/H) >= VMC	Non Instrument RWY			
		M(DA/H) >= 250' Visibility >= 1000m	Non Precision Approach RWY			
		DA/H >= 200' RVR >= 550m	Precision Approach RWY, Category I			
		DA/H >= 100' RVR >= 300m	Precision Approach RWY, Category II			
		DA/H >= 0' RVR >= 0m	Precision Approach RWY, Category III (A, B & C)			
System Performance Procedures	Annex 10 PANS-OPS Vol. II	NPA	NDB, Lctr, LOC, VOR, Azimuth, GNSS			
		APV	GNSS/Baro/SBAS			
		PA	ILS, MLS, SBAS Cat I, GBAS			

* NPA procedures require a derived DA/H

Obrázek 3 – Dělení přiblížení podle ICAO [5]

1.3. Současný a budoucí vývoj IFR přiblížení

Narůstající objem letecké dopravy a tlak na větší efektivitu od leteckých dopravců vytváří nutnost optimalizovat využití vzdušného prostoru. Toho je dosaženo zdokonalením v oblasti managementu letového provozu a rozvojem CNS (Communication, Navigation and Surveillance) systémů. Nejvýznamnějším pokrokem pro zvýšení kapacity vzdušného prostoru bylo rozšíření využití prostorové navigace ve všech fázích letu. Prostorová navigace je druh navigace mezi dvěma libovolnými body na zemském povrchu. Takový způsob navigace umožňuje především využití GNSS, ale moderní dopravní letadla jej kombinují dále s inerčními navigačními systémy, pozemními radionavigačními zařízeními DME a VOR pro největší přesnost. Minimalizace závislosti na konvenčních pozemních radionavigačních zařízeních umožňuje například značně zvýšit hustotu letových tratí bez zvýšení finančních nákladů. Pro využití prostorové navigace je nutné mít na palubě systém pro prostorovou navigaci. Požadavky na RNAV systémy jsou zahrnuty v konceptu PBN (Performance Based Navigation), který nahradil dříve užívaný koncept RNP. Koncept PBN je součástí konceptu PBO (provoz založený na výkonnosti). Výhodou takového přístupu je, že stanovené výkonnostní kritéria nepodmiňují technologie potřebné k jejich dosažení.

Rozvoj družicové navigace GNSS přinesl různé možnosti, jak dosáhnout požadované navigační výkonnosti – například shodné s úrovní ILS kategorie I. V souladu s PBN nezáleží, jestli se požadované výkonnosti bude dosahovat pomocí různých kombinací GPS, EGNOS (SBAS), GLONASS, WAAS (SBAS) nebo GALILEO. Koncept PBN dělí vybavení pro prostorovou navigaci do dvou skupin specifikací – RNP a RNAV. RNP specifikace jsou požadovány pro kritičtější fáze letu, jako jsou přiblížení na přistání nebo lety v oblastech s nevyhovujícím radarovým pokrytím. Z tohoto důvodu musí obsahovat palubní systém monitorování a varování, které upozorní pilota na problém (například snížení kvality poskytovaných dat). Stále platí, že pro určitou část letu nebo přiblížení na přistání je určena požadovaná navigační výkonnost. Starší RNAV systémy bez funkce monitorování a varování tak nemusí být nahrazeny modernějším vybavením splňující RNP specifikace, ale jejich použití je pouze omezeno. Například pro let v TMA určitého letiště může být požadováno RNAV 1, ale pro LPV přiblížení je potřeba navigační výkonnost RNP APCH. [6]

Tabulka 2 - Navigační specifikace pro různé fáze letu [7]

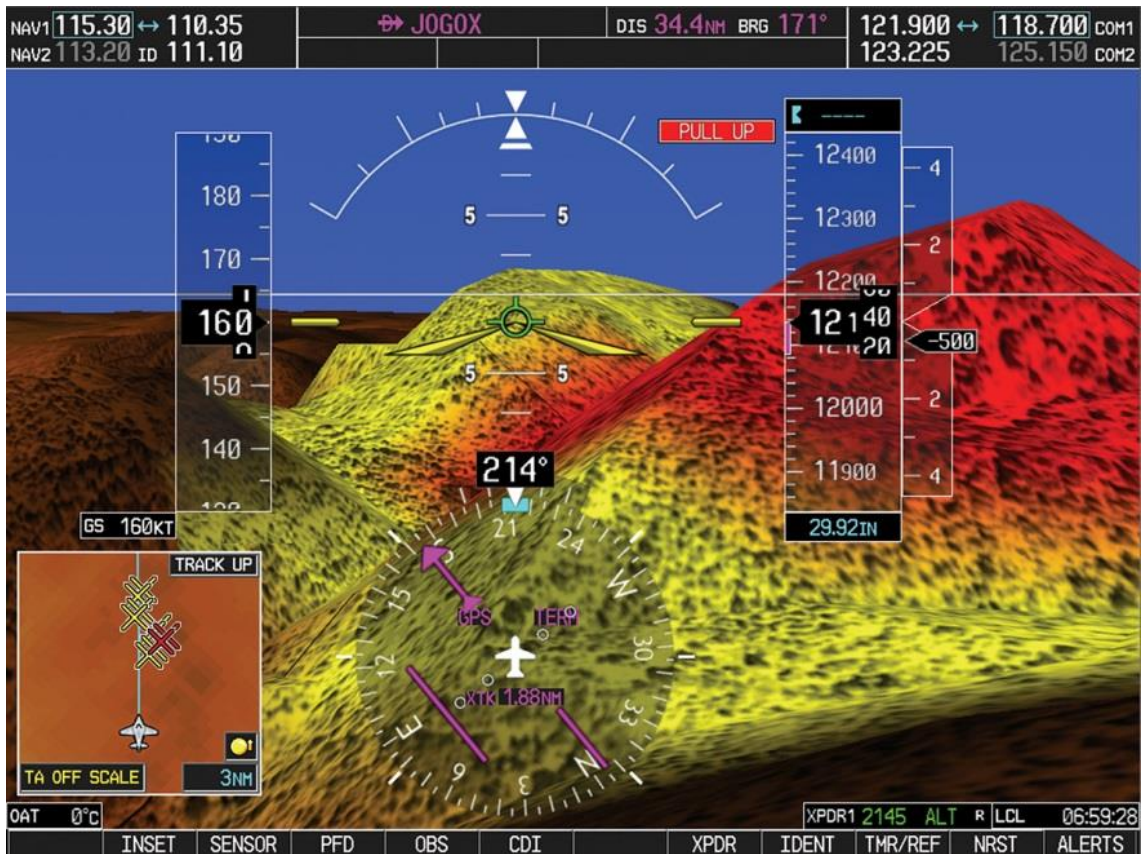
Navigační Specifikace	Fáze letu							
	En Route Oceanic Remote	En Route Continental	Přiletová trať	Přiblížení				Odletová trať
				Počáteční	Střední	Finále	Nezdařilé	
RNAV 10 (RNP 10)	10							
RNAV 5		5	5					
RNAV 2		2	2					2
RNAV 1		1	1	1	1		1	1
RNP 4	4							
RNP 2	2	2						
RNP 1			1	1	1		1	1
Advanced RNP	2	2 nebo 1	1	1	1	0,3	1	1
RNP APCH				1	1	0,3	1	
RNP AR APCH				1 - 0,1	1 - 0,1	0,3 - 0,1	1 - 0,1	
RNP 0,3		0,3	0,3	0,3	0,3	-	0,3	0,3

Cíle budoucího vývoje navigačního prostředí v České republice jsou mimo jiné popsány v letovém informačním oběžníku AIC A 1/12. Popsané koncepce vychází z dokumentu Eurocontrol „ECAC Navigation Strategy and Implementation Plan“ a rozvoj navigace v České republice je založen na implementaci navigace podle výkonnosti podle ICAO Doc 9613. AIC A 1/12 pro období od roku 2016 do roku 2020 uvádí jako obecný cíl, že primárním zdrojem navigace budou satelitní systémy (se satelitním nebo pozemním rozšířením) a jako pozemní záloha existující infrastruktura DME. Konkrétně se pro traťovou navigaci předpokládá využití RNAV-1 stejně jako v TMA (zde případně Basic RNP-1). Pro navigaci v úseku konečného přiblížení zůstává primárním druhem přiblížení ILS a předpokládá se rozšíření ILS CAT II/III na další letiště. Předpokládá se také instalace zařízení GBAS cat II/III. Nepřesné přiblížení využívající NDB nebo VOR pak budou rušena a nahrazena přiblíženími s využitím prostorové navigace založené na GNSS. [8]

V současnosti můžeme již částečně hodnotit, nakolik se daří plnit cíle uvedené ve zmíněném oběžníku. Daří se rozšiřovat (zavádět) přiblížení s využitím GNSS, které jsou již rozšířena na všech řízených letištích v České republice. Stejně tak jsou již všechny tratě ve spodním i horním vzdušném prostoru založené na využití prostorové navigace. Naproti tomu ani v roce 2017 nedochází k předpokládanému masivnímu rušení pozemních radionavigačních zařízení NDB a VOR. Na všech řízených letištích v ČR jsou stále k dispozici NDB nebo VOR přiblížení.

Z hlediska palubního vybavení dochází a bude nadále docházet k rozšiřování systémů GNSS do menších výcvikových letadel a letadel v rámci všeobecného letectví, aby i ony mohly využívat GNSS přiblížení včetně přiblížení LPV. Z hlediska zvyšování provozní bezpečnosti letu je pak významné rozšíření různých druhů systémů EVS (Enhanced Vision System) a SVS (Synthetic Vision System). Přestože EVS a SVS fungují na rozdílném principu, oba druhy systémů poskytují pilotovi výrazné zvýšení situačního přehledu a za podmínek snížené dohlednosti poskytují pilotovi obraz okolního terénu a překážek, čímž dochází k výraznému snížení rizika nehody typu CFIT. [9] SVS poskytuje pilotovi 3D obraz okolního terénu a nejčastěji bývá zobrazován v pozadí PFD (Primary Flight Display), tedy přímo v pozadí zobrazení umělého horizontu. Zdroj dat pro

vykreslení terénu na displeji je databáze terénu, kombinující data o poloze z GPS. Systém SVS výrazně zvyšuje situační přehled pilota, ale jelikož GPS nesplňuje požadované kritéria pro vertikální vedení a není garantována bezvadnost dat v databázi terénu, není možné se SVS klesat při přiblížení do nižší výšky, než jsou publikované minima pro daný druh přiblížení na přistání.



Obrázek 4 - SVS zobrazený na avionice Garmin G1000 [10]

EVS poskytuje pilotovi obraz okolního terénu a to buď na samostatném displeji nebo v případě EFVS na HUD displeji v zorném poli pilota. Výhodou oproti SVS je, že obraz je generován přímo pomocí kamery snímající infračervené záření z objektů v okolí letadla. Pokud je letadlo vybaveno systémem EFVS, může pilot dle předpisu EASA Air OPS 965/2012 klesat, při splnění určitých podmínek, při přiblížení kategorie I do výšky rozhodnutí, která je o 100 stop nižší, než definované výšky rozhodnutí pro dané přiblížení. Pilot má tak větší šanci získat vizuální kontakt s dráhou nebo osvětlením a bezpečnost přiblížení je také vyšší. [11] [12]

Ve Spojených státech umožňuje od ledna 2017 předpis FAR 91.176 letadlům vybaveným EFVS (včetně komerčních leteckých společností) zahájit přiblížení na přistání i pokud jsou meteorologické podmínky na letišti pod požadovanými minimy a zároveň umožňují letadlu klesat do nižších než publikovaných minim nejen u 3D přiblížení, ale také u některých 2D přiblížení.

System CVS (Combined Vision System) je kombinací dvou výše uvedených systémů. Kombinuje tedy data ze senzoru snímající infračervené záření z objektů v okolí letadla a zároveň poskytuje 3D zobrazení terénu z databáze v kombinaci s polohou poskytovanou GPS. Takový systém představuje technologicky nejdokonalejší řešení a pravděpodobně do budoucna umožní přiblížení na přistání za nulové dohlednosti včetně vedení při pojíždění. Využívání systému CVS sice bude vyžadovat speciální výcvik posádek a nákladné vybavení letadel, ale na druhou stranu nároky na pozemní radionavigační vybavení budou sníženy.



Obrázek 5 - CVS systém na letadle Dassault Falcon 2000 [13]

2. Úroveň bezpečnosti zajištěná legislativou

Veškeré předpisy týkající se letecké dopravy mají za cíl zajistit maximální úroveň bezpečnosti. V této diplomové práci budeme vždy mluvit o provozní bezpečnosti. Provozní bezpečnost je stav, při kterém jsou rizika spojená s provozem letadel a leteckými činnostmi snížena a řízena na přijatelné úrovni. [14] Stav, při kterém je minimalizována možnost poškození majetku a ohrožení zdraví osob. Pro zajištění takové úrovně provozní bezpečnosti, která by byla přijatelná a kterou by bylo možné řízením udržet, bylo založeno množství organizací. Tyto organizace se na světové, regionální a státní úrovni podílí na tvorbě a vydávání předpisů, které určují jednotné postupy, pravidla, normy pro všechny oblasti letectví a dohlíží na jejich koordinovanou implementaci. Tím v důsledku zvyšují celkovou provozní bezpečnost.

Rámec předpisů, které vytvářejí požadavky na všechny zúčastněné osoby a na všechny prostředky používané v letectví, byl vyvíjen postupně s rozvojem letadlové techniky a rozmachem letecké dopravy. Předpisy jsou průběžně aktualizovány a rozšiřovány, aby bylo dosaženo stále větší úrovně bezpečnosti a aby bylo umožněno bezpečně rozvíjet a zdokonalovat postupy a koncepty v civilní letecké dopravě.

2.1. Tři vrstvy regulace bezpečnosti

Organizace zajišťující vydávání předpisů za účelem udržování a zvyšování úrovně provozní bezpečnosti lze rozdělit na tři vrstvy.

2.1.1. Mezinárodní (globální) vrstva

Vydávání regulací a požadavků na globální úrovni zajišťuje Mezinárodní organizace pro civilní letectví (ICAO). Organizace, která spadá pod OSN a která vznikla v roce 1944 na základě Chicagské úmluvy, představuje dnes nejvyšší autoritu v civilním letectví a se 191 členy má největší vliv. Podpisem Chicagské úmluvy se stát zavazuje, že převezme standardy ICAO a bude je implementovat na svém území. Dále se zavazuje, že veškeré

odlišnosti od těchto standardů bude oznamovat ICAO. Letecká bezpečnost je jedním z hlavních cílů ICAO. Organizace se snaží, aby při zachování vysoké výkonnosti a plynulosti letecké dopravy byla zachována vysoká úroveň bezpečnosti. Tohoto ICAO dosahuje prostřednictvím:

- vývoje globálních strategií, které jsou obsaženy v plánu pro globální bezpečnost letectví a plánu pro globální navigační služby
- rozvoje a údržby standardů, doporučené praxe a postupů, které se vztahují na mezinárodní civilní letectví a pro jejich implementaci poskytuje ICAO příručky a oběžníky
- monitorování bezpečnostních trendů a indikátorů
- prováděním auditů vydávaných standardů, doporučené praxe a postupů prostřednictvím svého programu pro dohled nad bezpečností (Universal Safety Oversight Audit Programme). ICAO vyvinulo množství sofistikovaných nástrojů za účelem shromažďování a analyzování množství dat, které pomáhají odhalit stávající i nově vznikající rizika
- realizace cílených programů pro řešení bezpečnostních nedostatků
- účinných reakcí na narušení systému letecké dopravy konflikty nebo přírodními katastrofami

Mezinárodní organizace pro civilní letectví usiluje o realizaci praktických a dosažitelných opatření ke zlepšení bezpečnosti a účinnosti ve všech sektorech letecké dopravy. V minulých letech byl například zaveden požadavek pro provozovatele letadel a poskytovatele leteckých služeb zavést systém řízení bezpečnosti (SMS).

2.1.2. Regionální vrstva

Jedná se o střední regulační vrstvu založenou na postoupení některých národních regulačních funkcí do nadnárodních organizací. Cílem vytváření takových organizací je zajistit vysokou a jednotnou úroveň bezpečnosti v civilní letecké dopravě přijímáním společných bezpečnostních pravidel a opatření v souladu s pravidly ICAO a jejími doporučenými postupy.

Evropské uspořádání střední regulační vrstvy

V Evropě byla v roce 2003 založena Evropská agentura pro bezpečnost letectví (EASA) za účelem sjednocení pravidel a postupů v evropských státech. Státy, které do té doby byly členy Spojených leteckých úřadů (JAA), se snažily o harmonizaci svých požadavků a postupů v rámci organizace JAA, ale jelikož konečné rozhodnutí se odehrávala na samotných národních leteckých úřadech, existovaly rozdíly ve výkladu norem a postupů. Tento fakt nepříznivě ovlivňoval účinnost regulace. Přestože Evropská komise do založení Evropské agentury pro bezpečnost letectví úzce spolupracovala se Spojenými leteckými úřady, přechod k systému EASA a rozhodování na bázi Evropského společenství znamenalo významné zlepšení procesu rozhodování a tvorby předpisů. Mezi oblasti letectví, které v současné době spadají pod kompetenci organizace EASA jsou certifikace a řízení letová způsobilost, certifikace personálu, certifikace organizací mající na starosti design, výrobu, a údržbu výrobků v letectví. Dále pak certifikace osob a společností provozující leteckou techniku, analýza provozní bezpečnosti, air traffic management (ATM) a provozování letišť.

Evropská agentura pro bezpečnost letectví ovšem není jedinou organizací, která na evropské úrovni vyvíjí a pomáhá implementovat standardy a předpisy za účelem zvýšení provozní bezpečnosti letectví. Další organizace ve střední regulační vrstvě v Evropě jsou například EUROCAE, EUROCONTROL a mnoho dalších.

2.1.3. Národní regulační vrstvy

Ze třech regulačních vrstev se jedná o vrstvu nejnižší. Předpisy zvyšující provozní bezpečnost letectví jsou vydávány jako zákony daného státu, případně jako směrnice vydané národním úřadem pro civilní letectví. Národní předpisy by měli být v souladu s požadavky a předpisy stanovenými na regionální a globální úrovni, ale zároveň umožňují jednotlivým státům určitou flexibilitu. Tato flexibilita může být výhodná pro daný stát, ale z pohledu letecké dopravy, jejíž hlavním přínosem je právě doprava na velké vzdálenosti mezi jednotlivými státy, způsobuje často komplikace.

2.2. Přijatelná úroveň bezpečnosti

Stoprocentní úroveň bezpečnosti je obecně vzato nedosažitelný cíl. Pokud bychom se přesto snažili docílit toho, aby civilní letecká doprava byla naprosto bezpečnou činností, museli bychom vynaložit příliš mnoho finančních prostředků a letecká doprava, i přes svoje nesporné výhody, by byla nekonkurenceschopná oproti jiným způsobům dopravy. Koncept přijatelné úrovně bezpečnosti je určitým řešením tohoto problému, který byl přijat v rizikových průmyslových odvětvích. Pojem přijatelné riziko popisuje událost nebo činnost, při které hrozí určitá malá pravděpodobnost uskutečnění rizika, ale toto riziko je pro společnost přijatelné a lidé jsou obecně ochotni dané riziko podstoupit. Jedná se například o riziko nehody letadla, které cestující vnímají, ale je dostatečně malé, aby neovlivnilo jejich volbu cestovat letadlem. Jedním z hlavních úkolů organizací vytvářejících předpisy v letecké dopravě je regulovat parametry všech složek letectví (personálu, postupů, techniky a dalších) takovým způsobem, aby bylo naplněno očekávání cestujících o úrovni bezpečnosti. Jinak řečeno, aby úroveň bezpečnosti byla společensky přijatelná. Provozovateli pak náleží zodpovědnost, aby tyto předpisy (parametry) dodržoval a tím vykonával svoji činnost s přijatelnou úrovní bezpečnosti. Provozovateli samozřejmě náleží také povinnost dodržování předpisů prokázat příslušným úřadům a dokázat jim, že cílová úroveň bezpečnosti byla splněna. Aby mohla být tato úroveň proměněna ve skutečnost, musíme ji nějakým způsobem kvantitativně a kvalitativně stanovit. V letectví je přijatelná úroveň bezpečnosti většinou definována jako pravděpodobnost letecké nehody. Tato úroveň je definována pro každého provozovatele na základě mnoha faktorů, jako jsou provozní postupy, historie výkonů v oblasti provozní bezpečnosti, bezpečnostní standardy, firemní systém řízení bezpečnosti a mnoho dalších.

2.3. Dodržování leteckých předpisů

Veškeré oblasti letectví jsou řízeny předpisy. Konstrukce letadel, výcvik posádek, letové postupy, parametry tratí, meteorologické minima, parametry letišť - vše je určeno

předpisy. Předpisy jsou vytvářeny kvůli bezpečnosti. Z logiky vyplývá, že čím robustnější uspořádání systému (například dokonalejší postupy, delší výcvik, větší ochranné prostory, více zálohování systémů letadla, více členů posádky apod.) by umožnilo v letectví dosáhnout o mnoho vyšší úrovně bezpečnosti, ale tento přístup je v rozporu s tím, co bylo popsáno v předchozí kapitole. Ke konceptu přijatelné úrovně bezpečnosti bylo přistoupeno především z finančních důvodů. Není složité předpisem stanovit, že praxe výcviku pilota má obsahovat dvakrát nebo třikrát více hodin než je v současné době stanovené minimum, že letadla musí mít minimálně dva motory, že provoz letadel je možné pouze za dohlednosti nad deset kilometrů, ale z finančního hlediska to bude nesmysl a něco, co provozovatelé budou jen těžko akceptovat. Dalším faktem je také to, že pokud by bylo možné vytvořit a přijmout předpisy, které by samy o sobě vytvářely teoreticky dokonale bezpečný systém, v praxi bude v tomto systému obsažen nedokonalý prvek - člověk. V systému se může vyskytovat člověk, který se snaží splnit úkol, jak nejlépe dokáže, ale přesto chybuje, nebo člověk, který se záměrně odchyľuje od pravidel a postupů a přitom se dopouští chyb. Jestli je chyba záměrná či nezáměrná není ve výsledku důležité, protože následky nezáleží na záměru, ale na vykonané chybě. Dokonalé bezpečnosti nelze dosáhnout, protože člověk není dokonalý.

2.4. Dohled nad úrovní bezpečnosti

Dohled nad bezpečností tvoří významnou část regulačních procesů a je důležitý pro zajištění dodržování bezpečnostních předpisů. V civilní letecké dopravě v Evropě (resp. Evropské unii) je v současnosti zodpovědnost za přípravu a uzákonění leteckých bezpečnostních předpisů přenechána Evropské komisi nebo Evropské agentuře pro bezpečnost letectví. Pro dohled nad dodržováním těchto bezpečnostních předpisů pak byly určeny orgány na státní úrovni.

Takový přístup k bezpečnosti se v anglické terminologii nazývá compliance based oversight (CBO) [15] a je založen na předpokladu, že pokud organizace funguje zcela v souladu se všemi bezpečnostními předpisy, tak je dosaženo dostatečné úrovně bezpečnosti. Přístup CBO využívá klasickou metodu auditů, která podrobně zkoumá dodržování předpisů a standardů a je v dnešní době stále velmi rozšířenou. Je to

metoda vyvinutá v počátku rozvoje civilního letectví, kdy k vydávání nových předpisů docházelo často po letecké nehodě. Zkoumáním příčin nehody byla často zjištěna potřeba úpravy leteckých předpisů a následně bylo potřeba dohlédnout na to, zda letecký průmysl (aerolinky, výrobci apod.) nové požadavky dané předpisy implementovali. Problém přístupu CBO se skrývá v tom, že jakmile společnost splní požadavky předpisů, považuje se provozní bezpečnost za dostatečnou a omezuje se tím možnost dalšího zvýšení bezpečnosti. Z tohoto důvodu byl vyvinut Safety Management System (SMS). Safety management system lze do češtiny přeložit jako systém řízení bezpečnosti a je založen na sběru a analýze provozních dat a vyhledávání možných rizik. Tato rizika se následně aktivně zmírňují na přijatelnou úroveň nebo zcela odstraňují. Stejně jako v přístupu CBO, i zde probíhá dohled vyšší autority, která je nejčastěji na státní úrovni (například Úřad pro civilní letectví nebo přímo Ministerstvo dopravy). Koncept, který využívá SMS se označuje jako performance based oversight (PBO). Performance based oversight bere v úvahu schopnost subjektu odhalovat a řídit rizika ve vlastním provozu a implementovat a udržovat účinný systém řízení bezpečnosti a tím zachovat bezpečný provoz.

Systém řízení bezpečnosti (SMS) se pro provozovatele služeb v civilní letecké dopravě stal povinností s uvedením ICAO Annexu 19 (v české republice předpis L 19). Provozovateli služeb se rozumí schválené organizace pro výcvik (ATO), provozovatelé letounů a vrtulníků schválených pro obchodní leteckou dopravu, schválené organizace pro údržbu, organizace pro typový návrh a výrobci a poskytovatel letových provozních služeb (ATS). Stejný Annex zavádí povinnost i pro státy zavést státní program bezpečnosti, aby bylo dosaženo požadované úrovně bezpečnosti v civilním letectví i na úrovni státu. Poradním materiálem pro zavádění systému SMS je pak Safety Management Manual (SMM), též označovaný jako ICAO Doc 9859.

2.5. Systém řízení bezpečnosti a bezpečnostní plánování

Cílem bezpečnostního plánování je neustálé zvyšování provozní bezpečnosti. Bezpečnostní plánování obsahuje několik kroků:

- ustanovit základní princip řízení bezpečnosti organizace
- definování přijatelné úrovně bezpečnosti poskytovaných služeb
- vytyčení bezpečnostních cílů (safety performance targets)
- nastavení způsobu měření bezpečnostních indikátorů (kvantifikace)
- plán zavedení SMS do organizace

2.5.1. Bezpečnostní cíle

Bezpečnostní cíle definují požadovaný bezpečnostní výkon systému. Bezpečnostní cíl tvoří jeden nebo více bezpečnostních indikátorů. Požadovaný výsledek řízení bezpečnosti je také vyjádřen těmito indikátory. Bezpečnostní cíl může být vyjádřen v absolutních nebo relativních číslech. Méně jak 1 nehoda na 100 000 letů je příklad vyjádření bezpečnostního cíle v absolutních číslech.

2.5.2. Bezpečnostní indikátory

Bezpečnostní indikátory jsou využívány za účelem kvantifikování bezpečnostního výkonu. Právě bezpečnostní indikátory umožňují organizaci určit, zda její bezpečnostní cíle byly splněny či nikoliv. Nejčastěji jsou bezpečnostní indikátory ve formě frekvence výskytu nebezpečného jevu - tím může být například incident, vážný incident nebo letecká nehoda.

2.6. Předpisy týkající se bezpečnosti přiblížení

Tato diplomová práce se soustředí na bezpečnost přiblížení na přistání a především na metodiku hodnocení této bezpečnosti. Přiblížení na přistání patří mezi nejrizikovější části celého letu. Letadlo se pohybuje relativně blízko pádové rychlosti v blízkosti terénu a jiných překážek. Dochází ke změně konfigurace a změně nastavení výkonu motorů. Ze všech těchto faktorů vyplývá, že riziko nehody je logicky vyšší než v traťové

části letu. Aby bylo možné se hodnocením bezpečnosti přiblížení zabývat podrobněji, je nejprve nutné rozebrat jednotlivé předpisy určující pravidla a minimální parametry pro konstrukci a provedení přiblížení na přistání. Tato práce se bude zabývat výhradně postupy přiblížení dle pravidel letu podle přístrojů (IFR).

2.6.1. Letecký předpis L8168 (Doc 8168 ICAO)

Letecký předpis 8168 je základním předpisem určujícím celou řadu parametrů pro postupy letu podle přístrojů a provoz letadel. Letecký předpis se dělí na dvě části. Část první se zabývá letovými postupy a část druhá určuje postupy a pravidla pro konstrukci vizuálních a přístrojových postupů (tratě, přiblížení apod.). Část druhá je dále doplněna softwarem PANS - OPS OAS pro konstrukci letových tratí, který má pomoci s návrhem všech částí letu podle přístrojů. I s využitím softwaru však podoba výsledného letového postupu závisí na znalosti a zkušenosti konstruktéra. Předpis 8168 definuje mnoho parametrů, které, pokud jsou dodržovány, zaručují bezpečnost daného postupu, trati a podobně. V předpise nalezneme například postupy pro odlet, postupy pro přilet a přiblížení, traťová kritéria, postupy vyčkávání a další. V předpise lze nalézt konkrétní hodnoty, které jednoznačně určují bezpečné hranice pro let. Pro účely hodnocení bezpečnosti přiblížení jsou významná především části předpisu L 8168, která se zabývají minimálními rozestupy od překážek ve vertikální i horizontální rovině. Během letu podle pravidel IFR se předpokládá, že se letadlo po celou dobu letu pohybuje v oblačnosti a je vedeno jen podle přístrojů po předem stanovené a publikované trajektorii. Minimální výšky, do kterých může letadlo během přiblížení na přistání klesat, se liší podle kvality použitého radionavigačního zařízení nebo podle dostupné přesnosti GNSS přiblížení. Závisí samozřejmě i na kvalitě navigačního vybavení letadla. Podrobněji byla již přiblížení na přistání rozebrána v předchozí kapitole.

2.6.2. Letecký předpis L4444 (Doc 4444 ICAO)

Letecký předpis L 4444 - Postupy pro letové provozní služby - uspořádání letového provozu formuluje pravidla pro poskytování služeb letových provozních služeb. Předpis L4444 je ve svém jádru návodem, jak zajistit provozní bezpečnost letecké dopravy.

Služba řízení letového provozu, jedna z hlavních složek ATS (air traffic services), má jako primární úkol zajišťovat bezpečné rozstupy mezi letadly. Jejím druhým úkolem je však i dohled nad dodržováním minimální výšky nad překážkami. Tento druhotný úkol lze nalézt například v pravidlech pro předávání odpovědnosti za poskytování služby řízení letového provozu. Mezi nejvýznamnější kapitoly (hlavy) předpisu L4444 z hlediska provozní bezpečnosti jsou Hlava 4 (všeobecná ustanovení o letových provozních službách), 5 (druhy a minima rozstupů), 6 (rozstupy v blízkosti letišť), 7 (postupy pro letištní službu řízení) a 9 (letová informační služba a pohotovostní služba).

2.6.3. Letecký předpis L19 (ICAO Annex 19)

Letecký předpis L19 je letecký předpis určující povinnosti pro organizace v letectví zavést systém řízení bezpečnosti, který je systematický a proaktivní. Zároveň ukládá povinnost jednotlivým státům definovat přijatelnou úroveň bezpečnosti. Jeden z typů organizací, které je zatíženo povinností mít zaveden systém řízení bezpečnosti, jsou i poskytovatelé leteckých provozních služeb na letištích vybavených přístrojovým přiblížením.

2.7. Úroveň provozní bezpečnosti v letectví

2.7.1. Úroveň bezpečnosti mezi jednotlivými státy

Jak bylo uvedeno v úvodu kapitoly, na tvorbě a vydávání předpisů, které určují postupy, pravidla, normy pro všechny oblasti letectví se podílí organizace na několika úrovních. Předpisy vydané organizacemi na vyšších úrovních umožňují organizacím na nižších úrovních (například na národní úrovni) v určitém rozsahu měnit, aby lépe vyhovovala místnímu uspořádání letectví. Aby byla skutečně vytvořena jednotná úroveň bezpečnosti v letectví, nesměly by jakékoliv variace předpisů, řídicích a kontrolních mechanismů bezpečnosti být umožněny a tyto záležitosti by musely být zajišťovány jednou nadnárodní organizací s rozsáhlými pravomocemi. V současné době tak lze s jistotou říct pouze to, že v letectví je zaručena určitá minimální úroveň bezpečnosti, ale o jednotnou úroveň provozní bezpečnosti se nejedná. Příkladem může být uveden například rozdíl mezi Annexy a leteckými předpisy řady L v České republice. Jako konkrétní příklad pak můžeme uvést například Annex 19 vydaný ICAO, který sice

ukládá povinnost jednotlivým státům zavést státní program bezpečnosti, ale určení přijatelné úrovně bezpečnosti je ponecháno na jednotlivých státech.

2.7.2. Úroveň bezpečnosti mezi jednotlivými druhy leteckého provozu

Úroveň bezpečnosti letectví není na jednotné úrovni ani mezi jednotlivými druhy provozu v rámci jednoho státu. Důkazem mohou být například rozdílné certifikační procesy pro různá letadla dle provozu, pro který jsou určeny. Různá úroveň výcviku, zkušenosti a znalostí pilotů pohybujících se v jednom vzdušném prostoru. Příkladů je možné uvést celou řadu, ale závěr je takový, že úroveň bezpečnosti v celém letectví není na stejné úrovni.

2.7.3. Úroveň bezpečnosti číslem

V předchozích odstavcích jsme určili, že úroveň bezpečnosti není stejná v celém letectví. Určili jsme si však i to, že určitá minimální úroveň bezpečnosti je zaručena (např. předpisy) a proto bychom tuto úroveň měli definovat nebo změřit. V současné době se úroveň bezpečnosti uvádí jako $1 \cdot 10^{-7}$, což odpovídá jedné vážné nehodě (nehoda s úmrtím nebo úplným zničením letadla) [16] na deset milionů letů. [17] S takto vyhodnocenou úrovní bezpečnosti, která vychází pouze ze statistik leteckých nehod, nelze prakticky pracovat a jako hodnota, která by například sloužila jako základní přijatelná úroveň bezpečnosti (práh) pro aktivní řízení bezpečnosti je naprosto nepoužitelná.

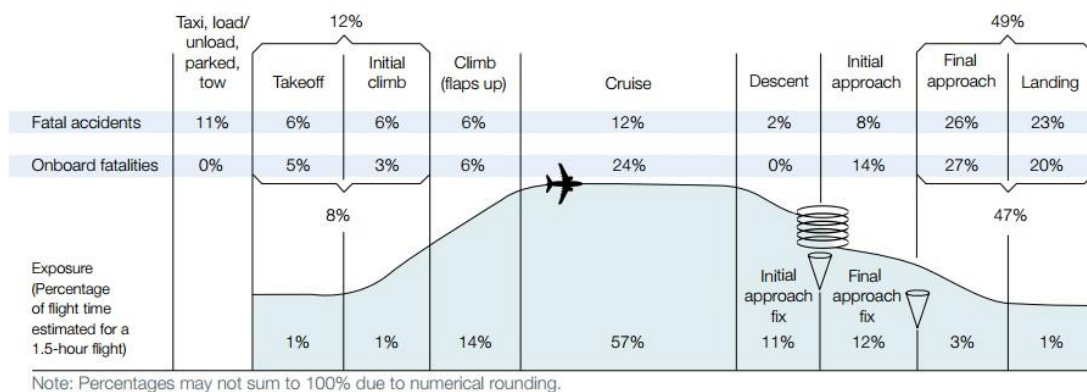
3. Metody hodnocení bezpečnosti užívané v letecké dopravě

Riziko a bezpečnost patří mezi nejdůležitější provozní charakteristiky současného civilního letectví. Obvykle je bezpečnost vyčíslena pravděpodobností vzniku letecké nehody, jejíž následky jsou zničení letadla, zranění nebo poškození majetku a infrastruktury. Vnímání rizika a bezpečnosti se měnilo současně s vývojem a rozšířením letecké dopravy. V počátcích letectví se provozní bezpečnost zvyšovala především vývojem technologií a jejich aplikováním do konstrukcí letadel a systémů používaných v letecké dopravě. Se zkušeností odborníků došlo i ke zdokonalení vnímání provozní bezpečnosti a zjištění, že nelze provozní bezpečnost zvyšovat pouze rozvojem technologií, ale významnou roli v provozní bezpečnosti hraje i lidský faktor a provozní postupy. S těmito zjištěními se následně začaly rozvíjet i metody hodnocení bezpečnosti, jelikož pouhou statistikou nehod a incidentů nebylo možné kompletně ohodnotit daný prvek. Věcí rozumíme například postup přiblížení.

Realizace letecké dopravy je, co se týká potřebné infrastruktury, techniky a lidské složky velmi složitý systém, kde hlavní činitelé, to jsou letečtí dopravci, letiště a řízení leteckého provozu, spolu spolupracují. Tato spolupráce, kde existuje několik vrstev hierarchie mezi jednotlivými činiteli, představuje nesmírně rozvětvený systém. Aby tento systém mohl být bezpečný, musí mít jeho jednotlivé prvky přijatelnou úroveň inherentní bezpečnosti. Tedy mít přijatelně malou pravděpodobnost (katastrofálního) selhání. Tato podmínka však sama o sobě nestačí. Je nutné, aby i interakce mezi těmito prvky měla přijatelnou úroveň bezpečnosti. Je zřejmé, že ohodnotit celkovou provozní bezpečnost tak, aby výsledky byly čitelné, ale bylo možné stanovit, zda je systém bezpečný či nikoliv, není snadné.

Jak bylo uvedeno v prvním odstavci této kapitoly, metody hodnocení rizik a provozní bezpečnosti se vyvíjely současně s rozvojem letecké dopravy a vnímáním problematických oblastí tohoto druhu dopravy. První metody pro hodnocení rizik a provozní bezpečnosti se objevili v šedesátých letech jako reakce na mnohé nehody, které se v tomto období staly. Cílem těchto metod bylo především odhalit hlavní

příčiny nehody a zabránit nehodám ze stejných příčin v budoucnosti. S růstem dostupnosti letecké dopravy, především díky rozšíření proudových dopravních letadel a také faktu, že letecká doprava začala být veřejností vnímána jako přijatelně bezpečná, došlo ve stejné době k výraznému nárůstu objemu letecké dopravy. Proto se v šedesátých letech objevily také metody pro hodnocení rizik a provozní bezpečnosti ATM, především složky řízení letového provozu, aby byla úroveň provozní bezpečnosti zachována i přes nárůst provozu. V sedmdesátých letech minulého století se odborníci v oblasti provozní bezpečnosti letecké dopravy zaměřili na lidský faktor. Ukázalo se, že právě lidský faktor začíná být hlavní příčinou leteckých nehod a incidentů, a technické selhaní jako příčina letecké nehody začíná být méně časté. Vyvinutí metod pro hodnocení rizik způsobených lidským faktorem pak bylo přímým výsledkem tohoto zjištění. V devadesátých letech nastal další posun ve vnímání provozní bezpečnosti a pozornost odborníků se zaměřila na organizační faktory. Organizačními faktory je myšlena bezpečnostní kultura uvnitř letecké společnosti. Důraz je kladen na vytvoření struktury obran, které mají schopnost odhalovat chyby a zabránit jejich šíření do dalšího provozu. Posledním typem metod hodnocení bezpečnosti, které byly vyvinuty, byly metody pro hodnocení rizik a bezpečnosti leteckého provozu na a v blízkosti letišť. Letiště se čím dál častěji stávala místem, kde docházelo k výraznému nárůstu hustoty leteckého provozu a tím i ke zvýšení rizika nehody nebo incidentu. V obrázku 1 níže je možné vidět, že 49% fatálních nehod se stane ve fázi letu, kdy je letadlo v úseku konečného přiblížení nebo při přistání. Úsek konečného přiblížení a přistání však představuje, při příkladu letu trvajícího 1,5 hodiny, jen 4% celkového času letu.



Obrázek 6 - Procento fatálních nehod a obětí nehod v různých fázích letu [18]

Letecké nehody jsou oproti nehodám v jiných druzích dopravy specifické tím, že i když jsou relativně vzácné, často končí fatálně pro cestující a velkými škodami na majetku. Metody užívané v letecké dopravě k hodnocení provozní bezpečnosti by proto měly být proaktivní. To znamená, že by měly odhalovat možná rizika dřív, než se mohou uskutečnit. Výběr metody, kterou odborník použije pro hodnocení bezpečnosti dané části letectví je čistě na něm, pokud není vázán například požadavkem společnosti, pro kterou hodnocení zpracovává. Pokud má na výběr z více metod, je potřeba, aby metodu zvolil na základě svých zkušeností a vybral metodu, která dokáže zahrnout všechna rizika dané části letectví.

V následující části práce budou rozebrány jednotlivé metody užívané pro hodnocení provozní bezpečnosti letectví. Pro přehlednost si metody můžeme rozdělit na čtyři druhy.

- A. metody pro posouzení rizik a provozní bezpečnosti letadel a řízení letového provozu (ATC, ATM)
- B. metody pro hodnocení rizika srážky letadel
- C. metody pro hodnocení rizika související s lidským faktorem
- D. metody pro hodnocení rizika poškození třetích stran

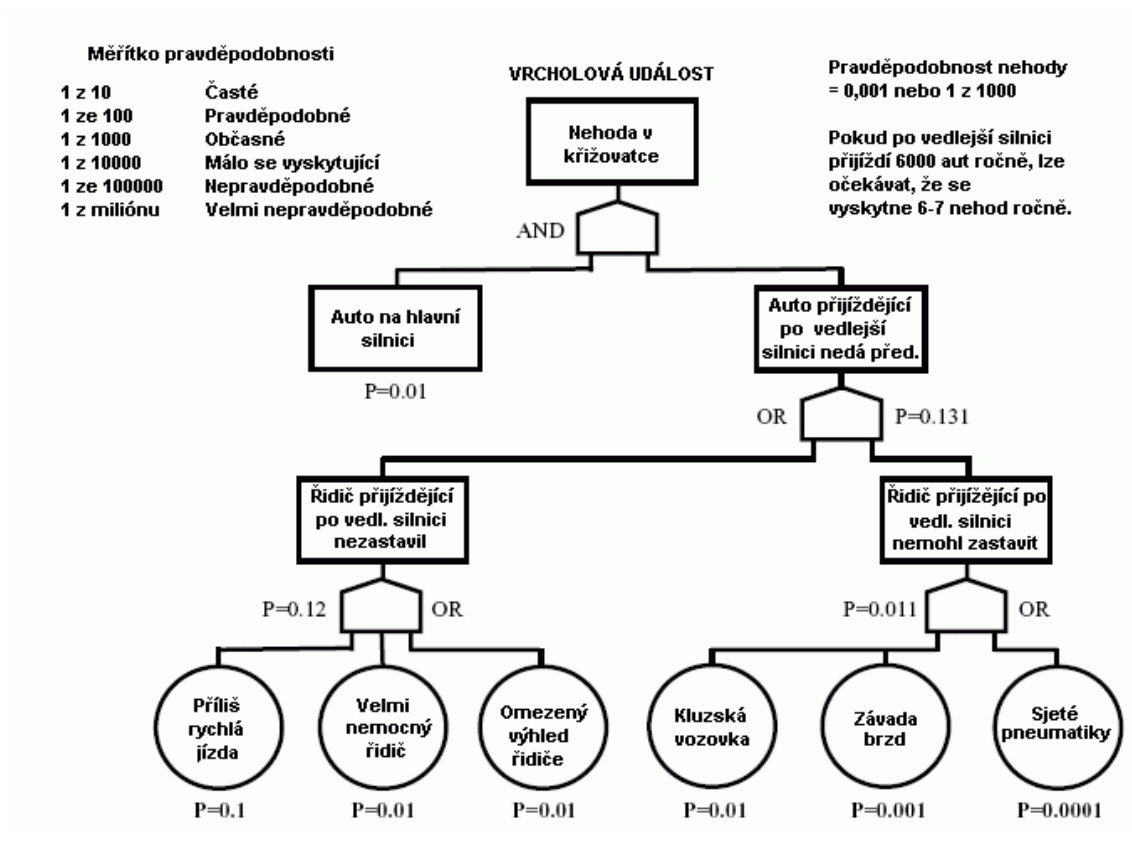
3.1. Metody pro posouzení rizik a provozní bezpečnosti letadel a řízení letového provozu

Metody pro posouzení rizik a provozní bezpečnosti letadel a řízení letového provozu umožňuje teoreticky posoudit riziko letecké nehody nebo incidentu a dělí se na dva základní druhy - kvalitativní a kvantitativní. Kvalitativní metody poskytují diagram hierarchie událostí nebo faktorů, které by mohly vést k letecké nehodě nebo incidentu. Užitečnost těchto metod spočívá v tom, že významně mohou pomoci k pochopení možných příčin letecké nehody a nabídnout tak možné preventivní opatření. Kvantitativní metody hodnocení rizik může naopak hodnotiteli pomoci odhadnout pravděpodobnost letecké nehody nebo incidentu a tím odhadnout riziko takové

události. Kvantitativní metody hodnocení rizik mohou být založené pouze na statistikách za podmínky, že máme k dispozici dostatek vhodných dat nebo mohou kombinovat statistická data s odborným posudkem. Takové metody hodnocení bezpečnosti rizik mohou také výrazně pomoci srovnat mezi sebou několik preventivních opatření a vybrat tu nejvhodnější pro zabránění budoucím nehodám a incidentům. Hlavním účelem všech metod, které slouží k hodnocení bezpečnosti, je podporovat rozhodování.

3.1.1. Fault Tree Analysis - FTA

Fault tree analysis, v češtině analýza stromu poruchových stavů, je metoda vyvinutá v roce 1961 společností Bell Telephone Laboratories ve Spojených státech. FTA se užívá pro hodnocení událostí nebo kombinaci událostí, které mohou vést k události s vážnými následky. V letectví tedy k letecké nehodě. Analýza FTA se provádí pomocí stromu, na jehož vrcholu je riziková událost s možnými vážnými následky, kterou chceme rozebrat. Z vrcholu stromu vedou jednotlivé větve, graficky znázorňující možné kombinace událostí, které by vedly ke vzniku události na vrcholu stromu. Při konstrukci stromu poruchových stavů se jednotlivé události ve větvích doplňují logickými operátory "a" a "nebo". Každá jednotlivá větev vedoucí k vrcholové události představuje samostatný běh událostí, které by vedly k nehodě a celková pravděpodobnost, že dojde k nehodě je součtem pravděpodobností, že se uskuteční jednotlivé řetězy událostí ve větvích stromu. Metoda FTA patří mezi vůbec nejrozšířenější metody pro hodnocení rizik a provozní bezpečnosti pro svoji relativní jednoduchost použití a grafickou názornost. Jedná se o metodu, která je přímo doporučena pro hodnocení rizik a bezpečnosti (a také spolehlivosti) letadel, letadlových systémů a systémů, které používají složky řízení letového provozu.



Obrázek 7 - Příklad užití metody FTA pro hodnocení rizika nehody v křižovatce [19]

3.1.2. Common Cause Analysis - CCA

Common cause analysis, v češtině analýza společných příčin, je kvalitativní metoda hodnocení rizik a provozní bezpečnosti. CCA je metoda, pomocí které můžeme identifikovat posloupanost událostí vedoucích k letecké nehodě. Při využití metody CCA se letadlo rozdělí na několik zón s tím, že všechny systémy a komponenty v jedné každé zóně jsou navzájem nezávislé. Díky takovému postupu je možné identifikovat selhání konkrétních komponentů letadla. Metoda common cause analysis je vhodná pro hodnocení rizika selhání letadlových systémů a výbavy. Jedná se o jednu z metod, kterou využívá Národní úřad pro letectví a kosmonautiku NASA.

3.1.3. Event Tree Analysis - ETA

Event tree analysis, v češtině analýza stromu událostí, je kvantitativní metoda pro hodnocení rizik a provozní bezpečnosti. Základem analýzy je iniciační událost (riziková událost), která se dále větví a popisuje všechny možné události, které mohou nastat vlivem této první iniciační události a nakonec je popsána úroveň závažnosti výsledku.

Každá větev stromu je doplněna o popis pravděpodobnosti selhání (resp. pravděpodobnost, že se událost odehraje). Jedná se o graficko-statistickou metodu s určenou symbolikou. Metoda ETA se ukázala jako použitelná v kombinaci s metodou FTA a umožňuje tak kvalitativní i kvantitativní popis události, která má být hodnocena. ETA je vhodná pro užití na letadlovou techniku a komponenty užívané řízením letového provozu (ATM).

Metod vhodných pro analýzu rizik a provozní bezpečnosti letadel a řízení letového provozu existuje celá řada a jejich využití závisí na odborníkovi, který analýzu provádí a na hodnocené události. Žádná metoda však není a ani nemůže být dokonalá. Není možné ohodnotit všechny možné kombinace selhání, které mohou nastat a posoudit jejich vliv na bezpečnost. Zvláště ne v dynamické a komplikované letecké dopravě - technologicky nejvyspělejším druhu dopravy. Dalším důvodem, proč žádná metodika hodnocení bezpečnosti a s tím i analýza bezpečnosti nebude dokonalá, je fakt, že analýzu provádí člověk. Člověk, který bude do hodnocení rizik vnášet svůj expertní odhad a bude používat, co se množství dat týká, omezenou databázi. Kvantifikace těchto metod se ukázala být velmi složitou a časově náročnou kvůli složitosti celků, které je potřeba hodnotit. Pokud budeme například analyzovat rizika a provozní bezpečnost opravdu složitých celků, jakými jsou například dopravní letadla, postihnout všechny možné kombinace selhání systémů, které by mohly vést k nehodě, nebude reálně možné. Kromě toho výpočet pravděpodobnosti a podmíněné pravděpodobnosti v situacích, kdy závislosti mezi jednotlivými faktory příčiny nejsou zcela známy, dále proces komplikuje. Získat čitelné a jednoznačné výsledky z takové analýzy (hodnocení) nemusí být vůbec možné.

3.2. Metoda pro posouzení rizik srážky letadel [20]

Zabraňováním srážek letadel za letu a na zemi je hlavní odpovědností řízení letového provozu. Přestože srážky letadel především za letu jsou velmi vzácným druhem nehody, vlivem redukce rozstupů letadel za účelem zvýšení kapacity vzdušného prostoru bylo potřeba zavést metody pro hodnocení rizik, které tento krok přinesl. Zavedení vzdušného prostoru RVSM a zavedením tratí na bázi prostorové navigace

RNAV, což umožnilo vytvořit hustější síť letových tratí, si vynutilo hodnocení provozní bezpečnosti letecké dopravy i v traťové části letu.

3.2.1. Reich-Marks Model

Metoda Reich-Marks pro hodnocení rizika srážky letadel je založena na tezi, že letadlo se pohybuje vzduchem s náhodnou chybou polohy a rychlosti, proti těm, které jsou očekávány. Model byl původně vyvinut pro odhadování rizika srážky letadel, letících po tratích NAT - OTS (North Atlantic Organised Track System) a následně pomáhat s určením vhodných pravidel pro rozstupy na letových tratích. Ve vzdušném prostoru nad severním Atlantikem se uplatňuje systém procedurálního řízení, kdy letadla letící tímto vzdušným prostorem nejsou v radarovém kontaktu s řízením letového provozu. V Reich-Marks modelu jsou letadla reprezentována trojrozměrnými krabicemi a v okamžiku, kdy dojde k jakémukoliv protnutí těchto "krabic", znamená to riziko kolize letadel.

Hlavním důvodem vývoje Reich-Marks modelu a podobných metod pro hodnocení rizik srážek letadel byla nutnost analyzovat, zda snížení rozstupů ve vzdušném prostoru nad Atlantikem představuje zvýšení rizika srážky letadel. Tyto metody měly také určit, kolik mohou být minimální rozstupy, aby byla zajištěna určitá úroveň bezpečnosti.

Jak již bylo zmíněno v jednom z předchozích odstavců, žádná metoda pro hodnocení provozní bezpečnosti není dokonalá a to platí i o metodě Reich - Marks modelu a dalších geometrických modelech. Jejich nedokonalost spočívá v tom, že aby analýza bezpečnosti byla co nejspolehlivější, je potřeba obrovského množství statistických dat o poloze letadel v prostoru. Pokud do modelu zahrneme ještě další faktory, jako jsou možné selhání některých systémů, stává se analýza velmi složitou.

Z důvodu složitosti analýzy bezpečnosti především nových systémových konceptů doporučuje ICAO srovnávat nový koncept s nějakým referenčním systémem, tedy například se současným řešením problematiky.

3.3. Metoda pro posouzení rizik vlivu lidského faktoru [20]

Vyšetřování mnoha nehod v letecké dopravě odhalilo, že příčinou letecké nehody byl lidský faktor. Lidská chyba v procesu řízení letu pak vede k sérii událostí, které následně vedou k letecké nehodě. Důležitost monitorování a modelování rizika selhání lidského faktoru a z toho vyplývajícího nebezpečí letecké nehody je zřejmá. K tomuto účelu může sloužit několik metod, z nichž některé jsou ovšem metody retrospektivní. To znamená, že je nelze použít pro analýzu nebezpečí, které by se mohlo uskutečnit v budoucnosti.

Jednou z metod, kterou lze analyzovat budoucí nebezpečí je HAZOP. Metoda HAZOP (Hazard and Operability) má za cíl odhalovat potenciální nebezpečí a odchylky skutečného fungování systému od projektovaného, včetně odhadu pravděpodobnosti eskalace do vážné události. Metoda HAZOP byla původně vyvinuta, aby mohla být použita pro analyzování rizika lidského faktoru při obsluze složitých technických zařízení (např. jaderné elektrárny, ale i letadla). Tedy rizika v rozhraní mezi člověkem a hardwarem.

Metody pro odhalování rizik lidského faktoru v civilní letecké dopravě byly vyvinuty za účelem odhalování rizika selhání především posádek letadel a pracovníků letových provozních služeb. Zároveň tyto metody pomáhají odhalovat faktory v prostředí a systémech, které by mohli způsobit selhání lidského faktoru a pravděpodobnost tohoto selhání. Některé metody lze využít již při vývoji konkrétních systémů ve fázi návrhu.

3.4. Metoda pro hodnocení rizika poškození třetích stran [20]

Metody pro hodnocení rizika poškození třetích stran jsou metody, které posuzují riziko pro osoby na zemi při nehodě letadla. Jelikož většina nehod se stává na letišti a v blízkém okolí letiště, soustředí se tyto metody na posouzení rizika právě v těchto oblastech. Riziko pro osoby na zemi nelze zcela eliminovat, ale riziko by mělo být měřitelné a řízené. V současnosti každý stát, případně letiště používá vlastní metody pro hodnocení rizika. Výsledkem je regulace především samotných tratí pro přelety a

přiblížení a regulace územního plánu v okolí letiště, který určuje, kde a jak je možné stavět domy a infrastrukturu.

3.5. Řízení bezpečnosti

Hodnocení úrovně bezpečnosti je prvním krokem k řízení bezpečnosti a udržení její přijatelné úrovně. K tomu využívají složky v letectví tři druhy prostředků – reaktivní, proaktivní a prediktivní. V současnosti jsou využívány všechny tři úrovně prostředků k řízení bezpečnosti, což představuje nejefektivnější nástroj k řízení bezpečnosti.

- **Reaktivní prostředky** - jak název napovídá, slouží až po uskutečnění události a představují kroky k její nápravě nebo budoucí prevenci. Příkladem reaktivních prostředků je vyšetřování nehod a incidentů.
- **Proaktivní prostředky** – slouží k identifikaci rizik před uskutečněním události (selhání) a tak umožní provést nezbytné opatření k snížení rizika. Příkladem mohou být například bezpečnostní audity a průzkumy nebo různé druhy ohlašovacích systémů.
- **Prediktivní prostředky** - slouží k řízení bezpečnosti (rizik) v reálném čase na základě kontinuálního sběru a vyhodnocování velkého množství dat z běžného provozu. Cílem je detailní analýza těchto dat nalezení těch, které mohou poukazovat na možná vznikající bezpečnostní rizika.

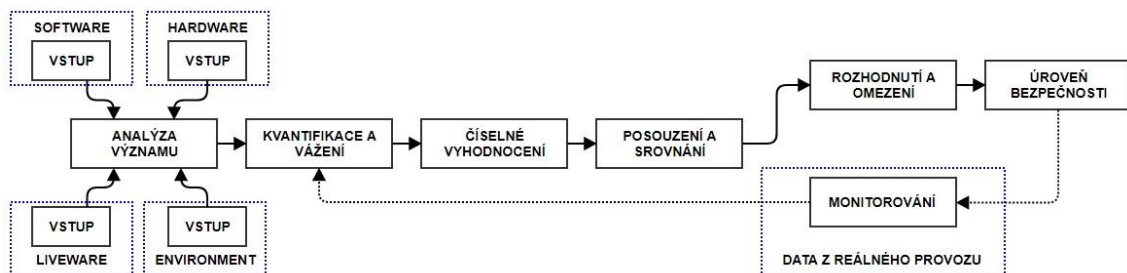
4. Návrh metody hodnocení provozní bezpečnosti přiblížení

Metody, kterými lze hodnotit provozní bezpečnost leteckého provozu je mnoho. Jejich omezením je většinou nemožnost aplikovat je na jakýkoliv úsek letu letadla. Stejně tak je omezením ohodnocení bezpečnosti pouze z jednoho hlediska. Tedy, že lze hodnotit pouze provozní bezpečnost přiblížení z hlediska například technického zajištění a jeho spolehlivosti nebo se naopak zaměřují pouze na lidský činitel. Takové metody mohou velmi přesně vyjádřit úroveň bezpečnosti těchto jednotlivých prvků letu, ale jejich kombinování a získání jedné určité úrovně provozní bezpečnosti je velmi obtížné nebo nemožné. Dalším častým problémem, tak jak bylo uvedeno v předchozích odstavcích, je složitost aplikace jednotlivých metod a nutnost kvalifikovaného odhadu. Úroveň bezpečnosti by měla být určena pokud možno jednoznačně, tak aby bylo možné srovnávat různé možnosti řešení (například druhů přiblížení) mezi sebou. Jedním z cílů této diplomové práce je navrhnout metodu hodnocení provozní bezpečnosti úseku konečného přiblížení, která splňuje výše uvedený požadavek a je možné pomocí této metody ohodnotit všechny potřebné aspekty přiblížení na přistání a tím získat jednoznačně určenou hodnotu provozní bezpečnosti. Taková metoda bude popsána v následujících částech práce a pro jednoznačnost bude označována jako metoda **SLEH**. Název SLEH byl vybrán, jelikož jednotlivá písmena v názvu označují všechny aspekty, které do metody musíme zahrnout, abychom mohli získat celkovou úroveň metody - software, liveware, environment a hardware.

4.1. Popis metody

Metoda SLEH umožňuje dvě úrovně hodnocení bezpečnosti. První úroveň je úroveň prediktivní. Tedy lze touto metodou hodnotit nově vzniklé přiblížení před tím, než je zahájeno jeho využívání. Druhá úroveň hodnocení úrovně provozní bezpečnosti je proaktivní. Sběrem dat z provozu lze prediktivně vyhodnocenou úroveň bezpečnosti zpřesňovat a zavedením těchto dat do rovnice úrovně bezpečnosti přímo ovlivnit

parametry (např. minimální výšky rozhodnutí) ve velmi krátkém čase a tím udržet námi určenou přijatelnou úroveň bezpečnosti. Na proaktivní úrovni hodnocení bezpečnosti by docházelo k monitorování mikroudálostí a jejich vyhodnocováním by se vyhodnocovaly možné trendy vývoje, které by mohly mít vliv na bezpečnost přiblížení. Mezi takové mikroudálosti bychom mohli zařadit například odchylka od tratě o určitou vzdálenost (úhel), podklesání nebo naopak nadletění sestupové osy o určitou výšku (úhel), chybné zopakování povolení a podobně. Mikroudálosti, které bychom mohli zařadit do sbíraných dat je mnoho, stejně tak jako jednotlivých případů překročení hranice, kdy by událost byla zaznamenána. Nejednalo by se ovšem o nehodu, vážný incident nebo jen incident tak jako je popsáno předpisem, ale pouze o přesně specifikovanou odchylku, kde z tradičního pohledu nedošlo k tak výraznému snížení úrovně bezpečnosti, aby toto snížení bylo ohodnoceno. Z pohledu metody SLEH, by ovšem k ohodnocení bezpečnosti došlo. Pokud například u pilotů určité společnosti dojde mnohem častěji k neporozumění povolení, jelikož jejich úroveň znalosti anglického jazyka je nižší oproti pilotům jiných společností, je úroveň bezpečnosti letu stejná u obou společností? Logický postup metody hodnocení provozní bezpečnosti SLEH úseku konečného přiblížení je vyjádřen v následujícím diagramu.



Obrázek 8 - Diagram metody hodnocení bezpečnosti přiblížení (zdroj: autor práce)

Jednou z hlavních přínosů metody SLEH je, že dokáže již v prediktivním stupni hodnocení zahrnout vstupy, které se dříve nezohledňovaly v hodnocení úrovně přiblížení. Pro představu můžeme uvést například, že úroveň bezpečnosti ILS přiblížení bude ze současného pohledu považováno za stejně bezpečné pro letadlo vybavené SVS a letadlo nevybavené tímto systémem. Je přitom zřejmé, že pilot letadla se SVS bude

mít lepší situační povědomí než pilot letadla bez tohoto systému, nebo minimálně bude riziko ztráty situačního povědomí menší u pilota letadla se SVS. Stejně tak úroveň bezpečnosti (za shodných vnějších podmínek) bude vyšší u letadla dvoupilotního než jednopilotního, přitom obě letadla mohou klesat do shodné výšky rozhodnutí. Metoda SLEH má následující vlastnosti:

- Dokáže zahrnout všechny významné prvky mající vliv na provozní bezpečnost do jednoho hodnocení
- Je použitelná pro prediktivní hodnocení (předaplikační hodnocení), které je následně proaktivně zpřesňováno
- Analýza dokáže určit hodnotu bezpečnosti nejen s ohledem na druh přiblížení na přistání, ale také na základě vybavenosti letadla, výcviku a složení posádky a dalších prvků
- Budoucího zvýšení bezpečnosti přiblížení by mohlo být dosaženo tak, že minimální výšky rozhodnutí by byly určeny nejen dle druhu přiblížení, ale i na dalších faktorech
- Aplikovat ji mohou konstruktéři tratí, letiště a provozovatelé pro své účely (vytváření vlastních provozních postupů nebo omezení)

4.2. Kroky k určení hodnoty bezpečnosti přiblížení

Metoda SLEH má celkem sedm kroků k určení hodnoty bezpečnosti přiblížení.

4.2.1. Hodnocené vstupy a analýza jejich významu

Vstupy do analýzy významu jsou celkem ze čtyř oblastí – software, liveware, hardware a environment. Každé z těchto čtyř oblastí zahrnuje množství dalších prvků, které se ale liší od stejných výrazů, užívaných v souvislosti s modelem SHELL. Jejich anglické významy však dobře slouží pro účely popisu vstupů. Je třeba zvážit, které z jednotlivých prvků do hodnocení zahrnout. Cílem je zahrnout co nejširší škálu prvků, abychom získali co nejpřesnější konečnou hodnotu bezpečnosti. Mohou ovšem existovat prvky, u kterých se již v prvním kroku rozhodne, že jejich význam pro zhodnocení bezpečnosti

je zanedbatelný a dále se do hodnocení nezahrnou. U takových prvků si ale hodnotitel musí být jistý, že na konečný výsledek nebudou mít vliv. Složitost získání dat o konkrétním prvku nesmí být důvodem k jejich nezahrnutí do hodnocení, pouze jejich význam je podstatný.

Software – provozní postupy daného provozovatele, checklisty a interní SMS společnosti. Obecně se jedná o nefyzické aspekty provozu. Standardně se zde zahrnuje i výcvik, ale metoda SLEH ji řadí do liveware, jelikož nehodnotí jednotlivé aspekty výcviku, ale spíše vycvičenost posádky.

Hardware – představuje zařízení a vybavení. Zahrnuje pozemní vybavení letiště včetně všech radionavigačních zařízení a vizuálních navigačních prostředků, primárního a sekundárního radaru a souvisejícího vybavení používaného složkami řízení letového provozu. Dále zahrnuje vybavení na palubě letadla, které jakýmkoliv způsobem ovlivňuje nebo by mohlo ovlivnit bezpečnost přiblížení. Takovým vybavením jsou například přístroje pro radionavigace a satelitní navigaci, GPWS, EVS, SVS, TCAS a další.

Environment – zahrnuje především vzdušný prostor a terén, nad kterým nebo vedle kterého se letadlo během přiblížení pohybuje.

Liveware – jedná se o posádku, která ovládá letadlo ve fázi přiblížení na přistání. Zohledňuje se nejen počet členů posádky, ale i její výcvik a zkušenost s daným přiblížením a letištěm.

4.2.2. Kvantifikace a vážení

V druhém kroku je třeba jednotlivé prvky číselně ohodnotit a tuto hodnotu vynásobit váhou. Váha představuje význam daného prvku v celkovém systému hodnocených prvků. Jedná se o kritický krok v celé metodě hodnocení bezpečnosti, jelikož je do hodnocení potřeba zahrnout velké množství prvků, které nejsou jednoduše kompatibilní. Tedy není možné je jednoduše poskládat do jednoho vzorce výpočtu.

4.2.3. Číselné vyhodnocení

Krok následující po kvantifikaci a vážení je vložení kvantifikovaných prvků do jednoho vzorce a výpočet hodnoty úrovně provozní bezpečnosti.

4.2.4. Posouzení a srovnání

Z číselného vyhodnocení v předchozím kroku získáme výsledek, který představuje celkovou úroveň bezpečnosti. V kroku číslo čtyři je třeba tuto výslednou hodnotu bezpečnosti vyhodnotit ve dvou ohledech. V prvním ohledu je třeba tuto hodnotu srovnat s požadovanou hodnotou úrovně bezpečnosti, kterou jsme si předem určili. Požadovaná hodnota úrovně bezpečnosti může představovat minimální přijatelnou hodnotu bezpečnosti nebo může být z různých důvodů, které jsme si opět předem určili, vyšší. Příkladem důvodu, kvůli kterému si zvolíme vyšší než minimální přijatelnou hodnotu úrovně bezpečnosti, může být například mimořádně komplikovaný horský terén v úseku přiblížení. V druhém ohledu je třeba srovnat tuto hodnotu s hodnotami jiných druhů přiblížení, které nám ve vyhodnocování poskytne informaci, která nám může pomoci s volbou, který druh přiblížení na dané letiště umístit. Díky srovnání můžeme upřednostnit nebo naopak vyloučit určitý druh přiblížení, který vykazuje výrazně vyšší resp. nižší hodnotu úrovně bezpečnosti.

4.2.5. Rozhodnutí a omezení

Krokem následujícím po posouzení a srovnání je rozhodnutí, zda úroveň bezpečnosti daného přiblížení je vyhovující nebo je potřeba úprava určitého prvku přiblížení, které ve výsledku zvýší hodnotu bezpečnosti přiblížení na přijatelnou úroveň. Úprava prvku přiblížení bude vždy znamenat určité omezení, jelikož bude zvyšovat požadavky na vybavení letadel využívající přiblížení, zvětšení ochranných prostorů znamenající zvýšení výšek rozhodnutí nebo omezení kategorie letadel, které mohou přiblížení využít z důvodu minimální (maximální) rychlosti na přiblížení. Možností omezení, znamenající zvýšení hodnoty úrovně bezpečnosti je takový počet, jaký je počet prvků, které do vyhodnocení zahrneme a které lze upravit (např. přiblížovací světelná soustava) nebo doplnit (např. vybavení letadla určitým systémem).

4.2.6. Úroveň bezpečnosti

Po předchozím kroku jsme získali konečnou hodnotu úrovně bezpečnosti. Pokud je aplikované monitorování dat reálného provozu, je možné hodnotu úrovně bezpečnosti dále zpřesňovat.

4.2.7. Monitorování dat z reálného provozu

Monitorováním dat z reálného provozu je možné konečnou úroveň bezpečnosti dále zpřesňovat. Incidents, vážné incidents a nehody mohou poskytnout mnoho informací, ale nejsou nevhodnější vzhledem k jejich mimořádnému výskytu a jejich reaktivní povaze. Mnohem vhodnější data pro úpravu přiblížení lze získat monitorováním mikroudálosti. Mikroudálost je výchylka od normálního stavu, která nevede k události, kterou by bylo možné kvalifikovat jako incident, vážný incident nebo nehodu, ale jejím sledováním a analyzováním lze získat cenné informace o rizicích během přiblížení, které nebylo možné určit v předaplikační analýze bezpečnosti. Zvláště důležité mohou být mikroudálosti, jejichž výskyt se ukáže jako opakující se. Včasným analyzováním těchto mikroudálostí a jejich kvantifikací lze získat zpřesněnou hodnotu úrovně bezpečnosti. Pokud tato hodnota klesne pod námi určenou požadovanou úroveň bezpečnosti, je nutné adekvátně upravit prvky přiblížení a tím opět zvýšit úroveň bezpečnosti na požadovanou úroveň. Výsledkem pak bude snížení rizika vzniku incidentu, vážného incidentu nebo nehody.

Mikroudálosti, které je vhodné sledovat v úseku konečného přiblížení, mohou být například:

- Vychýlení se z tratě sestupu v horizontální rovině o definovanou vzdálenost (úhel)
- Vychýlení se z tratě sestupu ve vertikální rovině o definovanou výšku (úhel)
- Pozdní nebo předčasné zahájení zatáčky (v případě RNP AR APCH se zatáčkou)
- Nezahájení postupu nezdařeného přiblížení v případě nestabilizovaného letu v určité části přiblížení
- Konfigurace letadla do plné přistávací konfigurace za FAF (FAP)

- Pozdní provedení checklistů
- Pozdní provedení briefingu přiblížení

Pro vyhodnocování mikroudálostí je možné použít pozemní nebo palubní zařízení zaznamenávající s vysokou přesností trať a výšku letu. Další data lze získat z provozního zapisovače letových údajů (QAR), který umožňuje vyhodnocovat let a zda během letu byly dodrženy provozní postupy.

4.3. Hodnocené prvky a zdroje dat

Hodnocené prvky se rozdělí do dvou skupin. V první skupině budou prvky, kde budeme počítat přímo s konkrétně měřenými veličinami, které mají určitý rozměr. V druhé skupině budou prvky, kde budeme zvažovat, zda jsou nebo nejsou přítomny, případně budeme rozlišovat různou kvalitu dostupného prvku, která nemá rozměr a není přímo měřitelná.

4.3.1. Měřitelné prvky

Letiště

Rozměry dráhy – rozpoznatelnost dráhy vůči okolnímu terénu má přímý vliv na kvalitu vedení letadla pilotem v úseku konečného přiblížení. Čím rozměrnější dráha, tím snadnější je pro pilota ji rozpoznat.

Přiblížení

Šířka ochranného prostoru – šířka ochranného prostoru má přímý vliv na úroveň bezpečnosti v úseku konečného přiblížení, čím širší prostor, tím menší pravděpodobnost, že letadlo ochranný prostor opustí. V případě, že šířka ochranného prostoru v úseku konečného přiblížení není konstantní, vypočítáme místo, kde je prostor nejužší a použijeme tuto hodnotu.

Minimální výška nad překážkami / heightloss – podobně jako šířka ochranného prostoru má minimální výška nad překážkami přímý vliv na úroveň bezpečnosti v úseku

konečného přiblížení, čím vyšší minimální výška nad překážkami, tím menší pravděpodobnost, že letadlo se odchýlí od sestupové tratě natolik, aby opustilo ochranný prostor

Úhel sestupu – sestupový úhel přiblížení větší než 3° vyžaduje větší gradient klesání, což činí přiblížení náročnější

Výška rozhodnutí – nižší výška rozhodnutí umožňuje letadlu dostat se blíže překážkám, čímž se zvyšuje riziko střetu s těmito překážkami v případě pozdního nebo nesprávného provedení postupu nezdařeného přiblížení

Rychlost na přiblížení – čím vyšší rychlost při přiblížení, tím rychleji letadlo opustí ochranný prostor při stejné odchylce od osy sestupu.

Zakřivení úseku konečného přiblížení – pokud je trať konečného přiblížení konstruována se zatáčkou (RNP AR přiblížení), je vyžadován manévr o určitém náklonu dle rychlosti a poloměru zatáčky k udržení letadla na trati. Takový manévr představuje vyšší zátěž na pilota.

Objem provozu ve vzdušném prostoru letiště – čím vyšší objem provozu na letišti, tím větší pravděpodobnost, že letadla budou využívat menších rozstupů, než v případě letiště s méně hustým provozem. Vyšší objem provozu znamená i větší zátěž pro řídicí letového provozu, což zvyšuje riziko vzniku chyb. Pokud chyby vzniknou, ať už ze strany řízení letového provozu nebo pilotů, je vyšší pravděpodobnost, že ohrozí ostatní provoz.

4.3.2. Neměřitelné prvky

Přiblížení

Vedení v horizontální rovině – kvalitnější vedení v horizontální rovině umožňují pilotovi dříve rozpoznat odchylky od osy přiblížení a provádět korekce dříve. Poloha letadla je také určena s vyšší přesností.

Vedení ve vertikální rovině – kontinuální informace o poloze ve vertikální rovině snižují pracovní zátěž pilot a zvyšují situační povědomí. Poloha letadla je také určena s vyšší přesností.

Vybavení letiště

Světelná soustava – zlepšená rozpoznatelnost dráhy za snížené dohlednosti, čímž je zvýšena kvalita vedení letadla v úseku konečného přiblížení. Sestupová světelná soustava zobrazuje pilotovi správný úhel sestupu v úseku konečného přiblížení a pilot je schopen tento úhel udržet i při pohledu ven z kokpitu. Osová a přibližovací světelná soustava umožňuje správně vést letadlo do osy dráhy, čímž se minimalizuje riziko vyjetí z dráhy při přistání.

Vybavení letadla

Autopilot a automat tahu (Auto-Throttle) – umožňuje přesnější vedení letadla po trati, rychlejší reakce na odchylky od trati a výrazně snižuje pracovní zátěž pilota, což umožňuje pilotovi soustředit více své mentální kapacity na monitorování letadlových systémů. Pokud je letadlo vybaveno záložním systémem autopilota, je dále zvýšena bezpečnost. Automat tahu je systém spolupracující se systémem autopilota a systémem řízení a optimalizace letu (FMS – Flight Management System) umožňuje nastavit cílovou rychlost letu, která je automaticky udržována, čímž je snížena pracovní zátěž pilota.

Flight Director - umožňuje přesnější vedení letadla po trati a výrazně snižuje pracovní zátěž pilota. Pilot nemusí vyhodnocovat odchylky jednotlivých přístrojů, ale flight director pilota přirozeně vede k provádění takových pohybů řízením, které udrží letadlo na trati letu.

Systém elektronických letových přístrojů (EFIS – Electronic Flight Instrument System) – vybavení primárním letovým displejem a navigačním displejem umožňuje výrazné zlepšení situačního povědomí pilota.

Palubní protisrážkový systém (TCAS – Traffic Alert and Collision Avoidance System) – zvýšení přehledu o okolním provozu, snížení rizika střetu s ostatním provozem v blízkosti letadla, snížení rizika vzniku nebezpečí způsobené chybou řídicího letového provozu.

System varování před blízkostí terénu (GPWS – Ground Proximity Warning System) – varování pilota v případě, kdy je zjištěna vzdálenost od terénu, která by mohla představovat potenciální ohrožení bezpečnosti letu.

Radiovýškoměr – vybavení radiovýškoměrem poskytuje pilotovi informaci o jeho okamžité výšce nad terénem a zvyšuje tak situační povědomí pilota.

SVS, EVS – systémy zobrazující pilotovi 3D obraz okolního terénu zvyšuje situační povědomí pilota a výrazně snižují riziko řízeného letu do terénu (CFIT – Controlled Flight Into Terrain).

HUD – průhledový displej umožňuje pilotovi vidět letová data a indikaci odchylek od sestupové osy při současném pohledu ven z kokpitu letadla. Tím, že se eliminuje potřeba pilota střídavě přenášet pozornost z přístrojů na palubní desce ven z letadla, se snižuje pracovní zátěž pilota.

Palubní meteorologický radar (AWR – Airborne Weather Radar) – poskytuje pilotovi aktuální obrázek meteorologické situace před letadlem, především pak srážek a turbulence. Druhotnou schopností palubního meteor radaru je schopnost mapovat terén před letadlem.

Posádka letadla

Složení posádky letadla (počet pilotů) – pracovní zatížení jednotlivce ve vícepilotní posádce je nižší, ve srovnání s jednopilotní posádkou. Zároveň je sníženo riziko nehody v případě zdravotní indispozice pilota, podobně jako se snižuje riziko vzniku chyb z důvodu umožněné křížové kontroly.

Speciální výcvik pro přiblížení – vyžadováno obvykle u nestandardních přiblížení (RNP AR, přiblížení s výrazně vyšším úhlem sestupu a podobně). Speciálním výcvikem se kompenzuje zvýšené riziko chyb, a tedy snížená úroveň bezpečnosti, která je u těchto přiblížení daná jejich neobvyklostí.

Řízení letového provozu

Primární přehledový radar a sekundární přehledový radar – informace z primárního radaru jsou velmi přesné v určení kurzu a vzdálenosti letadla od stanoviště, ale

neposkytují žádné další data o letadle. Sekundární radar poskytuje další informace o letadle, jako je například registrace a výška, případně další pokud je letadlo vybaveno odpovídáčem módu S. Naproti tomu informace o kurzu a vzdálenosti letadla od stanoviště jsou nepřesné. Z uvedených důvodů je dnes již ve vyspělých zemích standardem na řízených letištích vybavenost oběma radary a kombinování dat z obou radarů.

4.3.3. Zdroje dat

Potřebná data pro hodnocení bezpečnosti přiblížení metodou SLEH, jsou získávána z následujících zdrojů:

- Letecká informační příručka (AIP – Aeronautical Information Publication)
- Předpis L8168 – Postupy pro letové navigační služby (resp. Doc 8168 ICAO)
- Doc 9905 ICAO – Required Navigation Performance Authorization Required Procedure Design Manual
- Doc 9613 ICAO – Performance Based Navigation Manual
- Letový plán (FPL – Flight Plan) pro let a letadlo, které má dané přiblížení vykonat
- AFM (Aircraft Flight Manual)
- FCOM (Flight Crew Operating Manual)
- Informace od provozovatele letadla využívající přiblížení, které nelze získat z letového plánu (např. podrobné informace ohledně vybavenosti letadel systémy)
- Informace od složky ATC, která je na daném letišti zodpovědná za poskytování služeb řízení letového provozu ohledně vybavenosti stanoviště (např. přehledovými systémy)

5. Výpočet úrovně bezpečnosti metodou SLEH

Výpočet úrovně bezpečnosti metodou SLEH má celkem tři kroky. V prvním kroku se vyhodnotí a ohodnotí jednotlivé varianty každého prvku, z hlediska své bezpečnosti relativně vůči sobě. Číselné vyjádření se označuje jako parametr prvku. V druhém kroku se ohodnotí váha (význam) každého prvku relativně vůči ostatním prvkům z hlediska, jaký příspěvek k celkové úrovni bezpečnosti tento prvek představuje. Ve třetím kroku jednotlivé parametry prvků vynásobíme odpovídající váhou prvku a provedeme součet všech dílčích výsledků. Získáme vyjádření celkové úrovně bezpečnosti číslem.

5.1. Měřitelné veličiny s rozměrem

Pro veličiny s rozměrem, které lze přímo změřit, je třeba určit hodnoty parametru výpočtem. Odborným posouzením bylo určeno, jaký průběh vlivu má změna parametru na úroveň bezpečnosti. Na základě toho byla určena nejvhodnější funkce pro výpočet – lineární, exponenciální nebo distribuční funkce. Jednotlivým prvkům se výpočtem určí hodnota mezi 0 a 1. Monitorováním reálného provozu a analýzou mikroudálostí lze provádět korekce průběhu parametru například změnou střední hodnoty u exponenciální nebo distribuční funkce.

Délka přistávací dráhy

$$\left(\frac{LNG}{LNG_{max}} \right) = P_A$$

LNG - délka přistávací dráhy

LNG_{max} - maximální šířka přistávací dráhy

P_A - prvek A

Jako maximální hodnota zvoleno 5000 m

Tabulka 3 - Vzorové hodnoty pro prvek délka dráhy

Délka dráhy [m]	800	1500	2000	2500	3000	4000	5000
Prvek A	0,16	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0

Šířka přistávací dráhy

$$\left(\frac{WDT}{WDT_{max}} \right) = P_B$$

WDT - šířka přistávací dráhy

WDT_{min} - maximální šířka přistávací dráhy

P_B - parametr prvku B

Jako maximální hodnota je zvoleno 63 m

Tabulka 4 – Vzorové hodnoty pro prvek šířka dráhy

Šířka dráhy [m]	18	23	30	45	60	63
Parametr prvku B	0,286	0,365	0,476	0,714	0,95	1

Rychlost na finále

$$\left(\frac{V_{minfin}}{V_{fin}} \right) = P_C$$

V_{fin} - rychlost v úseku konečného přiblížení daného letadla

V_{minfin} - minimální možná rychlost v úseku konečného přiblížení

P_C - parametr prvku C

Minimální hodnota 70 kt IAS (tato hodnota bude jiná v případě RNP AR přiblížení se zatáčkou, kdy je definovaná minimální a maximální hodnota rychlosti kvůli limitaci na poloměr zatáčky a náklon letadla v zatáčce

Tabulka 5 - Vzorové hodnoty pro prvek rychlost v úseku konečného přiblížení

Rychlost v úseku konečného přiblížení [kt]	70	85	110	135	160	190
Parametr prvku C	1	0,824	0,636	0,519	0,438	0,368

Šířka ochranného prostoru

$$1 - e^{-\frac{1}{WPA_{stř}} \times WPA} = P_D$$

WPA = šířka ochranného prostoru

WPA_{stř} = střední hodnota užívaných šířek ochranného prostoru

($\frac{1}{3}$ největší hodnoty nejmenší šířky pro neméně přesné NDB přiblížení, což se rovná 0,828)

e = Eulerovo číslo

P_D = parametr prvku D

Tabulka 6 - Vzorové hodnoty pro prvek šířka ochranného prostoru

Šířka ochranného prostoru	0,1	0,15	0,3	0,6	2	2,484
Parametr prvku D	0,114	0,166	0,304	0,515	0,911	0,950

Vzorce pro výpočet šířky ochranného prostoru u nejrozšířenějších druhů přiblížení, kde šířka ochranného prostoru není konstantní:

VOR přiblížení:

$$WPA_{VOR} = 2 \times (1 + (0,137 \times \text{vzdálenost MAPt od VOR [NM]}))$$

Minimální hodnota šířky ochranného prostoru je 2 NM pokud se zařízení VOR nachází v bodě MAPt.

NDB přiblížení:

$$WPA_{NDB} = 2 \times (1,242 + (0,182 \times \text{vzdálenost MAPt od NDB [NM]}))$$

Minimální hodnota je 2,484 NM pokud se zařízení NDB nachází v prostoru konečného přiblížení mezi body FAF a MAPt.

ILS přiblížení:

$$WPA_{ILS} = 2 \times (0,0567 + \left(0,052 \times \frac{(\text{výška rozhodnutí [ft]} - 50\text{ft})}{\tan \alpha (\text{úhel sestupu}) \times 6076} \right))$$

Hodnota 0,0567 [NM] je šířka v místě prahu dráhy.

Úhel sestupu

Parametr úhlu sestupu můžeme považovat za konstantní mezi minimální hodnotou 2,5° a 3,0°. Parametr úhlu sestupu rovnoměrně klesá mezi 3,0° a 6,0°, který považujeme za maximální pro účely výpočtu v této práci (uvedeny jsou hodnoty do 5,0°).

P_E - Parametr prvku E

Tabulka 7 - Vzorové hodnoty pro prvek úhel sestupu

Úhel sestupu [°]	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3
Parametr prvku E	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,969	0,937	0,904
Úhel sestupu [°]	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0	4,1	4,2
Parametr prvku E	0,872	0,840	0,808	0,775	0,743	0,711	0,678	0,646	0,614
Úhel sestupu [°]	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5,0	
Parametr prvku E	0,581	0,549	0,517	0,485	0,452	0,420	0,388	0,355	

Minimální výška nad překážkami (MOC) / heightloss (HL)

$$\left(\frac{MOC}{MOC_{max}} \right) = P_F$$

MOC – minimální výška nad překážkami [m]

MOC_{max} – nejvyšší minimální výška nad překážkami [m]

P_F – Parametr prvku F

Jako maximální hodnota zvoleno 90 m.

Tabulka 8 - Vzorové hodnoty pro prvek MOC / HL

MOC / HL [m]	40	43	46	49	75	90
Parametr prvku F	0,444	0,478	0,511	0,544	0,833	1

U přiblížení, které dle staršího rozdělení označujeme za nepřesná je MOC 75 m (nebo 90 m, kde nelze stanovit FAF)

U přesných přiblížení volíme hodnoty dle kategorie letadla:

Tabulka 9 – Hodnoty HL dle kategorie letadla

Kategorie letadla A	40 m
Kategorie letadla B	43 m
Kategorie letadla C	46 m
Kategorie letadla D	49 m

Výška rozhodnutí

$$1 - e^{-\frac{1}{DH_{stř}} \times DH} = P_G$$

DH - výška rozhodnutí [ft]

DH_{stř} - střední hodnota výšky rozhodnutí [ft]

$\left(\frac{2}{3}\right)$ největší hodnoty minimální výšky rozhodnutí pro nejméně přesné přiblížení
– 223 ft)

e - Eulerovo číslo

P_G - parametr prvku G

Tabulka 10 – Vzorové hodnoty pro prvek výška rozhodnutí

DH [ft]	50	100	150	200	250	300	350
Parametr prvku G	0,193	0,349	0,475	0,576	0,658	0,724	0,777

Zakřivení úseku konečného přiblížení

$$e^{-\frac{1}{NK_{stř}} \times NK} = P_H$$

NK – potřebný náklon [°]

NK_{stř} – střední hodnota náklonu [°]

($\frac{2}{3}$ největší možné hodnoty náklonu – 16,67°)

e - Eulerovo číslo

P_H - parametr prvku H

Tabulka 11 – Vzorové hodnoty pro prvek zakřivení

Náklon [°]	0	5	10	15	20	22,5	25
Parametr prvku H	1	0,741	0,549	0,407	0,301	0,259	0,223

Potřebný náklon lze vypočítat dle dat získaných z přibližovací mapy pro dané RNP AR přiblížení. Tyto mapy obsahují pouze informaci o maximální povolené rychlosti v daném úseku, nikoliv poloměr zatáčky, který by umožnil snadnější výpočet potřebného náklonu. Poloměr zatáčky je proto potřeba vypočítat z údaje o maximální povolené rychlosti v úseku se zatáčkou, která odpovídá maximálně povolenému náklonu 20°. Z údaje o poloměru zatáčky pak vypočítáme potřebný náklon pro rychlost letadla, které zahrnujeme do výpočtu úrovně bezpečnosti.

$$R = \frac{(3\,431 \times \tan 20^\circ)}{[\pi \times (TAS_{max}[kt] + WS[kt])]}$$

R - poloměr zatáčky

TAS_{max} - maximální povolená rychlost letu

WS - zadní složka větru dle tabulky (dle výšky, kde je zatáčka zahájena)

Tabulka 12 – Hodnoty zadní složky větru

Výška zatáčky nad letištěm [ft]	Zadní složka větru [kt]	Výška zatáčky nad letištěm [ft]	Zadní složka větru [kt]	Výška zatáčky nad letištěm [ft]	Zadní složka větru [kt]
500	25	4500	65	8500	105
1000	38	5000	70	9000	110
1500	50	5500	75	9500	115
2000	50	6000	80	10000	120
2500	50	6500	85	10500	125
3000	50	7000	90	≥11000	130
3500	55	7500	95		
4000	60	8000	100		

$$\alpha = \arctan \frac{(TAS[kt] + WS[kt])^2}{(68625 \times R)}$$

α - úhel náklonu

TAS - rychlost letadla zahrnutého do výpočtu hodnoty úrovně bezpečnosti

WS - zadní složka větru dle tabulky

R - poloměr zatáčky

Objem provozu ve vzdušném prostoru letiště

V současné době se objem provozu na nejušnějších letištích na světě pohybuje mírně pod 900 000 pohybů za rok. Jako maximální hodnota pro výpočet parametru byla zvolena právě tato hodnota.

$$\left(1 - \frac{MOV}{MOV_{max}}\right) = P_I$$

P_1 - parametr prvku I

MOV - počet pohybů na hodnoceném letišti

MOV_{max} - maximální počet pohybů

Tabulka 13 – Vzorové hodnoty pro prvek počet pohybů

Počet pohybů	LKPR 136 766 pohybů (2016)	LOWW 226 811 pohybů (2016)
Parametr prvku I	0,848	0,748

5.2. Veličiny bez rozměru

Pro veličiny bez rozměru, které nelze přímo změřit, je třeba určit hodnoty parametru jiným způsobem. Pro ohodnocení se využije odborné posouzení dílčích komponent prvku, které se v součtu rovnají hodnotě parametru prvku. Jednotlivým prvkům se přiřadí hodnota mezi 0 a 1.

Kvalita vedení v horizontální rovině

P_J – Parametr prvku J

Parametry kvality vedení v horizontální rovině vychází z přesnosti určení pozice v horizontální u jednotlivých druhů přiblížení.

Tabulka 14 - Hodnoty parametru pro prvek kvality vedení v horizontální rovině

Druh přiblížení	NDB	NDB/DME	VOR	VOR/DME	GNSS
Parametr prvku J	0,08	0,08	0,32	0,32	0,72
Druh přiblížení	GNSS Baro	GNSS SBAS	GNSS GBAS	LOC	ILS
Parametr prvku J	0,72	0,88	1	1	1

Kvalita vedení ve vertikální rovině

P_K – Parametr prvku K

Parametry kvality vedení ve vertikální rovině vychází z přesnosti určení výšky ve vertikální rovině. Hodnota 0,1 je přiřazena druhům přiblížení, které neposkytují kontinuální vedení ve vertikální rovině, ani kontinuální informaci o vzdálenosti, která by umožnila průběžnou kontrolu sestupu na definovaných vzdálenostech. Hodnota 0,3 je přiřazena přiblížením, u kterých je s využitím DME nebo GNSS možné kontrolovat výšku během sestupu v předem stanovených vzdálenostech od radionavigačního bodu resp. prahu dráhy. Hodnoty od 0,8 do 1 jsou přiřazeny, dle kvality poskytnuté informace, přiblížením u kterých pilot má kontinuální informaci o svoji odchylce od osy sestupu.

Tabulka 15 - Hodnoty parametru pro prvek kvality vedení ve vertikální rovině

Druh přiblížení	NDB	VOR	NDB/DME	VOR/DME	GNSS
Parametr prvku K	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3
Druh přiblížení	LOC	GNSS Baro	GNSS SBAS	GNSS GBAS	ILS
Parametr prvku K	0,3	0,8	0,9	1	1

Světelná soustava

P_L – Parametr prvku L

Výpočet parametru se rozdělí na celkem 6 částí. Největší význam z hlediska rozpoznatelnosti během sestupu má délka přibližovací světelné soustavy a intenzita osvětlení. Během přiblížení za snížené dohlednosti klesá letadlo do výšky rozhodnutí, v které nejpozději musí získat pilot vizuální reference. Pilot nemusí během přiblížení získat vizuální reference přímo s dráhou, ale dostačující je přesně definovaná část přibližovací světelné soustavy. Větší délka světelné soustavy znamená větší pravděpodobnost, že pilot uvidí z místa, kdy dosáhne výšky rozhodnutí potřebnou část

světelné soustavy. Vyšší intenzita světla zvyšuje viditelnost světla skrz oblačnost a mlhu. Význam ostatních částí světelné soustavy je ohodnocen rovnoměrně.

Tabulka 16 – Hodnoty pro výpočet parametru prvku světelná soustava

Část		Hodnota 0,3	Hodnota 0,2	Hodnota 0,1	Hodnota 0
A	Délka	>1500 ft	≤1500 ft		
B	Intenzita světla	Vysoká	Střední	Nízká	
C	Záblesková soust.			Ano	Ne
D	Sestupová sous.			Ano	Ne
E	Osa dráhy			Ano	Ne
F	REIL			Ano	Ne

$$A + B + C + D + E + F = P_L$$

Tabulka 17 - Vzorové hodnoty pro prvek světelná soustava

Druh světelné soust.	LKTB Rwy 27 (CAT I)	LKPR Rwy 24 (CAT III)
Parametr prvku L	0,8	0,9

Automatický let

P_M – Parametr prvku M

Systém autopilota značně snižuje pracovní vytížení pilota a zbavuje ho nutnosti manipulovat řízením pro udržení letadla na požadované trati. Pilot získá volnou kapacitu pro kontrolu systémů, briefingy a přípravu na další část letu. Automat tahu pak zbavuje pilota povinnosti manipulace s pákami řízení tahu, čímž se dále snižuje zátěž pilota a zvyšuje se přesnost letu.

Tabulka 18 – Hodnoty parametru prvku automatický let

Systém pro automatický let	Ne nebo bez APP módu	Autopilot	Autopilot s autotatem tahu
Parametr prvku M	0	0,8	1

Poznámka: uvažujeme pouze autopilota s módem pro přiblížení (APP mode)

Flight Director

P_N – Parametr prvku N

Rozlišují se dva možné stavy a to zda letadlo je nebo není vybaveno systémem flight director.

Tabulka 19 – Hodnoty parametru prvku flight director

Vybavení Flight Director	ANO	NE
Parametr prvku N	1	0

Systém elektronických letových přístrojů EFIS

P_O – Parametr prvku O

Rozlišují se dva možné stavy, a to zda letadlo je nebo není vybaveno systémem elektronických letových přístrojů EFIS.

Tabulka 20 – Hodnoty parametru prvku EFIS

Vybavení EFIS	ANO	NE
Parametr prvku N	1	0

Palubní protisrážkový systém

P_p – Parametr prvku P

V současnosti jsou v užívání dva typy palubních protisrážkových systémů – TCAS I a TCAS II. TCAS I poskytuje pilotovi pouze informace o provozu (Traffic Advisory), které by mohlo představovat potenciální riziko pro letadlo. Systém TCAS II poskytuje pilotovi mimo informace o provozu i pokyny pro vyhnutí se provozu, pokud systém vyhodnotí, že letadla jsou na kolizním kurzu.

Tabulka 21 - Hodnoty parametru prvku palubní protisrážkový systém

Palubní protisrážkový systém	NE	TCAS I	TCAS II
Parametr prvku P	0	0,5	1,0

Systém varování před blízkostí terénu

P_Q – Parametr prvku Q

Pro určení parametru prvku Q – systém varování před blízkostí terénu se rozlišují tři možné stavy vybavení. Zda má letadlo systém GPWS, EGPWS nebo není vybaveno žádným z těchto systémů. GPWS má celkem 7 základních módů stejně jako EGPW. EGPWS oproti GPWS má v sobě integrovanou mapu světa obsahující výškové kóty terénu a srovnáním polohy letadla a reliéfu terénu před letadlem dokáže varovat před hrozícím nebezpečím výrazně dříve než systém GPWS, který dokáže vyhodnocovat pouze okamžitou výšku letadla nad terénem a změnu této výšky. EGPWS představuje zvýšení bezpečnosti ve 4 ze 7 módů.

Tabulka 22 - Hodnoty parametru prvku systém varování před blízkostí terénu

Systém varování před blízkostí terénu	NE	GPWS	EGPWS
Parametr prvku Q	0	0,636	1

Radiovýškoměr

P_R – Parametr prvku R

Rozlišují se dva možné stavy a to zda letadlo je nebo není vybaveno radiovýškoměrem.

Tabulka 23 – Hodnoty parametru prvku radiovýškoměr

Radiovýškoměr	ANO	NE
Parametr prvku R	1	0

SVS, EVS systémy

P_S – Parametr prvku S

V současné době neexistují data, která by srovnávala příspěvek k úrovni bezpečnosti jednotlivých druhů SVS a EVS systémů v relativním srovnání. Proto pro určení parametrů jsou jednotlivé systémy odstupňovány s ohledem na jejich komplexnost. Parametry systémů SVS, EVS, EFVS a CVS nejsou rozděleny rovnoměrně mezi 0 a 1, protože příspěvek k zvýšení bezpečnosti je výrazný i systému SVS, který lze považovat za nejnižší úroveň těchto systémů, z důvodu, že pracuje pouze s databází terénu a polohovými daty z GPS. Pro přehled jsou opět uvedeny rozdíly mezi jednotlivými systémy.

SVS – vykreslení obrazu na základě databáze terénu a polohy GPS

EVS – zobrazení okolního terénu a objektů na základě dat ze senzoru snímající infračervené záření

EFVS – stejný princip fungování jako EVS, ale data jsou zobrazována na průhledovém displeji

CVS – kombinuje systém SVS a EVS pro nejdokonalejší a nepřesnější vykreslení obrazu terénu a objektů v okolí letadla

Tabulka 24 – Hodnoty parametru prvku SVS, EVS systémy

SVS a EVS systémy	NE	SVS	EVS	EFVS	CVS
Parametr prvku S	0	0,7	0,8	0,9	1,0

Průhledový displej

P_T – Parametr prvku T

Rozlišují se dva možné stavy, a to zda letadlo je nebo není vybaveno průhledovým displejem.

Tabulka 25 – Hodnoty parametru prvku průhledový displej

Průhledový displej	ANO	NE
Parametr prvku T	1	0

Palubní meteorologický radar

P_U – Parametr prvku U

Rozlišují se dva možné stavy, a to zda letadlo je nebo není vybaveno palubním meteorologickým radarem.

Tabulka 26 – Hodnoty parametru prvku palubní meteorologický radar

Palubní meteorologický radar	ANO	NE
Parametr prvku U	1	0

Složení posádky letadla

P_V – Parametr prvku V

Rozlišují se dva možné stavy a to, zda letadlo je řízeno jedním nebo dvěma piloty.

Tabulka 27 – Hodnoty parametru prvku složení posádky letadla

Počet pilotů	1	2
Parametr prvku V	0	1

Speciální výcvik pro přiblížení

P_W – Parametr prvku W

Rozlišují se dva možné stavy, a to pokud je nebo není vyžadován speciální výcvik pro přiblížení.

Tabulka 28 – Hodnoty parametru prvku speciální výcvik pro přiblížení

Speciální výcvik pro přiblížení	ANO	NE
Parametr prvku W	1	0

Radarové vybavení stanoviště ATC

P_x – Parametr prvku X

Radarové vybavení stanoviště ATC je hodnoceno dle vybavenosti primárním a sekundárním radarem. Jelikož každý druh radaru přináší data, která se navzájem doplňují a z hlediska co možná nejefektivnějšího řízení letového provozu jsou parametry rozděleny následujícím způsobem.

Tabulka 29 - Hodnoty parametru prvku radarové vybavení stanoviště ATC

Radarové vybavení	Primární radar	Sekundární radar	Primární + sekundární radar
Parametr prvku X	0,5	0,5	1,0

5.3. Váha prvku z hlediska celkové úrovně bezpečnosti

Nyní je potřeba určit vliv jednotlivých parametrů na celkovou úroveň bezpečnosti. Vliv je pro prvotní analýzu třeba určit analýzou nehod, protože aktuálně nejsou k dispozici

data o analýzách mikroudálostí. Mikroudálosti, jako jev s mnohem častějším výskytem než nehoda, by poskytly mnohem přesnější výsledek. Součet hodnot vah jednotlivých parametrů se musí rovnat 1.

Tabulka 30 – Příčiny nehod [21]

Číslo příčiny	Příčina	Procentuální výskyt u nehod	Váha příčiny
1	Nedodržení IFR postupů	37	14,34
2	Odchýlení se od publikované tratě	31	12,02
3	Nestabilizované přiblížení	25	9,69
4	Pozdní/nesprávné provedení MAP/GA	23	8,91
5	Nedodržení bezpečné výšky	22	8,53
6	Nedostatečná rychlost během přiblížení	22	8,53
7	Nesprávné rozhodnutí	21	8,14
8	Nedostatek zkušeností	13	5,04
9	Prostorová dezorientace	13	5,04
10	Nesprávné/pozdní reakce	11	4,26
11	Nezvládnutí řízení letadla	8	3,10
12	Rychlé/ vysoké přiblížení	6	2,33
13	Chybné nastavení výškoměru	3	1,16
14	Chybné vyhodnocení navigačních údajů	1	0,39

Postup výpočtu výsledné váhy prvku, kterým se bude násobit parametr prvku pro určení celkové hodnoty úrovně bezpečnosti je rozdělen do několika kroků. V prvním kroku je třeba vypočítat váhu jednotlivých příčin vzhledem k jejich procentuálnímu výskytu u analyzovaných nehod.

$$Váha\ příčiny = \frac{Procentuální\ výskyt\ příčiny\ u\ nehod}{\sum Procentuální\ výskyt\ všech\ příčin\ u\ nehod}$$

V druhém kroku je třeba rozhodnout, které prvky mají vliv na příčiny sledovaných nehod a provést součet vah těchto příčin.

$$Kombinovaná\ váha = \sum Váhy\ příčin,\ na\ které\ má\ prvek\ vliv$$

V třetím kroku se provede výpočet výsledné váhy každého prvku.

$$Váha\ prvku = \frac{Kombinovaná\ váha\ prvku}{\sum Kombinovaných\ vah\ prvků}$$

Tabulka 31 – Váhy prvků

Prvek	Název prvku	Vliv na příčiny	Kombinovaná váha	Výsledná váha prvku
P _A	Délka přistávací dráhy	2, 3, 5, 7, 9,	48,07	0,034
P _B	Šířka přistávací dráhy	2, 3, 5, 7, 9,	48,07	0,034
P _C	Rychlost na finále	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 14	88,76	0,063
P _D	Šířka ochranného prostoru	1, 2, 5, 7, 10, 11, 14	50,87	0,036
P _E	Úhel sestupu	3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 14	53,88	0,039
P _F	Minimální výška nad překážkami / heightloss	1, 4, 5, 7, 10, 11, 13, 14	48,83	0,035
P _G	Výška rozhodnutí	1, 4, 5, 7, 10, 11, 13, 14	48,83	0,035
P _H	Zakřivení	1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 14	66,28	0,047
P _I	Objem provozu ve vzdušném prostoru letiště	7	8,14	0,006
P _J	Kvalita vedení v horizontální rovině	1, 2, 3, 7, 9, 10, 11, 14	56,98	0,041
P _K	Kvalita vedení ve vertikální rovině	1, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14	74,42	0,053
P _L	Světelná soustava	2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 12, 14	58,93	0,042
P _M	Automatický let	2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 14	70,94	0,051
P _N	Flight Director	2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 14	70,94	0,051
P _O	Systém elektronických letových dat EFIS	2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 14	70,94	0,051
P _P	Palubní protisrážkový systém	7, 10	12,40	0,009
P _Q	Systém varování před blízkostí terénu	1, 2, 4, 5, 7, 10, 13,	57,36	0,041
P _R	Radiovýškoměr	3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14	51,55	0,037
P _S	SVS, EVS systémy	2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14	72,10	0,052
P _T	Průhledový displej	2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 14	70,94	0,051
P _U	Palubní meteorologický radar	7, 10, 11	15,50	0,011
P _V	Složení posádky letadla	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14	100,00	0,072
P _W	Speciální výcvik pro přiblížení	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14	100,00	0,072
P _X	Radarové vybavení ATC	1, 2, 4, 7, 9, 10, 14	53,10	0,038

5.4. Rovnice pro hodnotu úrovně bezpečnosti

$$P_A \times A_A + P_B \times A_B + \dots + P_X \times A_X = H$$

A – váha prvku

P – Parametr prvku

H – hodnota úrovně bezpečnosti

Celková hodnota úrovně bezpečnosti se rovná součtu násobků parametrů jednotlivých prvků s váhami jednotlivých parametrů.

5.5. Aplikace metody pro výpočet hodnoty úrovně bezpečnosti

Aplikace výpočtu úrovně provozní bezpečnosti bude demonstrováno přiblížení ILS Rwy 24 na letišti LKPR. Letadlo letící přiblížení je Boeing 737-800.

Pro určení hodnot jednotlivých parametrů jsou využity následující zdroje:

- Mapa pro přiblížení ILS Rwy 24
- Letištní mapa a příslušné materiály s informacemi o parametrech dráhy
- FCOM (Flight Crew Operating Manual) B737-800
- Předpis L8168
- Informace ze stanoviště řízení letové provozu pro LKPR (vybavenost, počet pohybů)

V následující tabulce jsou pro přehlednost dosazeny odpovídající parametry:

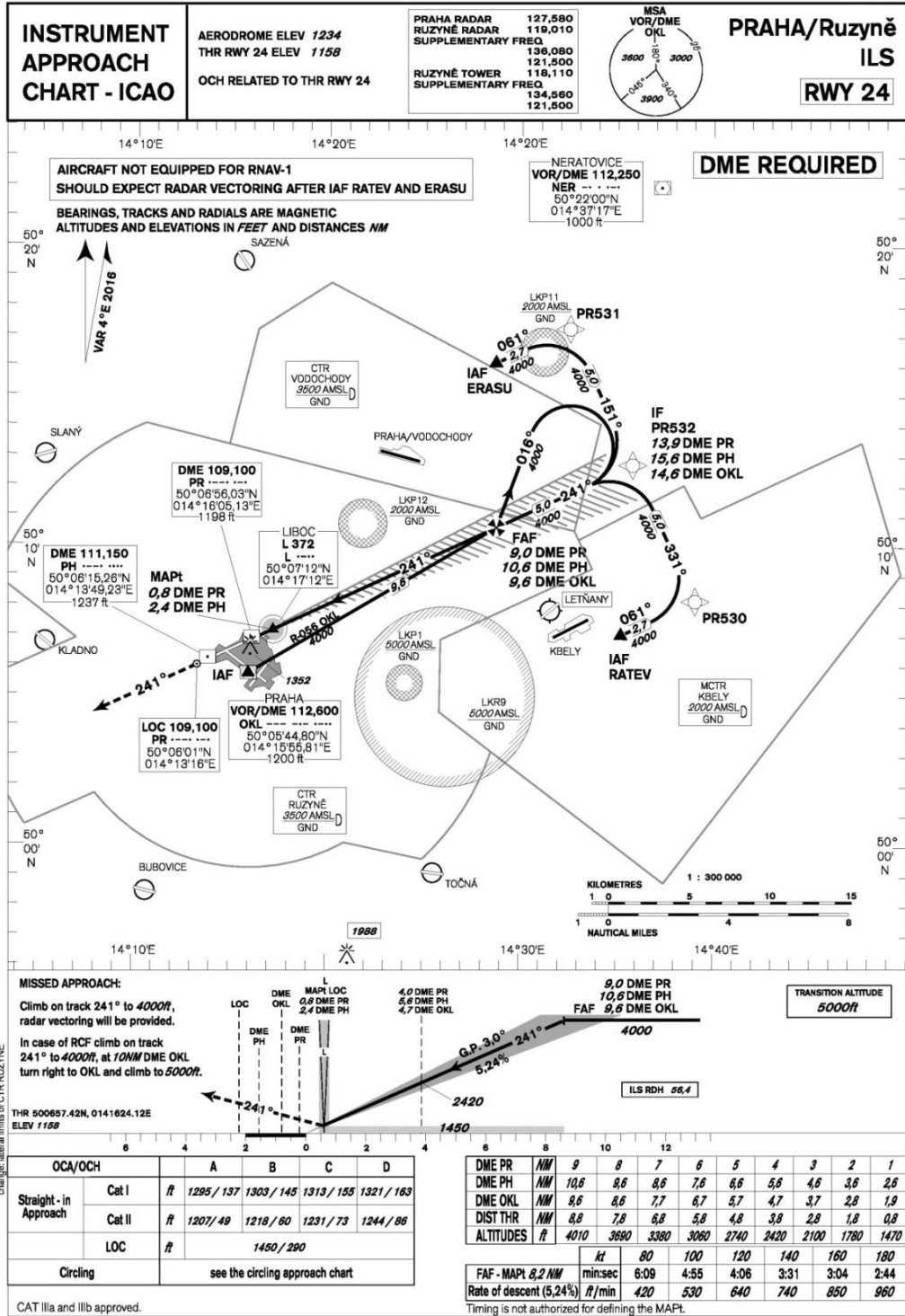
Tabulka 32 - Parametry pro přiblížení ILS Rwy 24 (B737-800)

Prvek P	P _A	P _B	P _C	P _D	P _E	P _F	P _G	P _H	P _I
Parametr	0,743	0,714	0,493	0,178	1,000	0,511	0,576	1,000	0,848
Prvek P	P _J	P _K	P _L	P _M	P _N	P _O	P _P	P _Q	P _R
Parametr	1,000	1,000	0,900	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Prvek P	P _S	P _T	P _U	P _V	P _W	P _X	N/A	N/A	N/A
Parametr	0	0	1,000	1,000	0	1,000	N/A	N/A	N/A

Parametry se nyní vynásobí odpovídající váhou:

$$\begin{aligned}
 &(0,743 \times 0,034)_A + (0,714 \times 0,034)_B + (0,493 \times 0,063)_C + (0,178 \times 0,036)_D \\
 &\quad + (1 \times 0,039)_E + (0,511 \times 0,035)_F + (0,576 \times 0,035)_G \\
 &\quad + (1 \times 0,047)_H + (0,848 \times 0,006)_I + (1 \times 0,041)_J + (1 \times 0,053)_K \\
 &\quad + (0,9 \times 0,042)_L + (1 \times 0,051)_M + (1 \times 0,051)_N + (1 \times 0,051)_O \\
 &\quad + (1 \times 0,009)_P + (1 \times 0,041)_Q + (1 \times 0,037)_R + (0 \times 0,052)_S \\
 &\quad + (0 \times 0,051)_T + (1 \times 0,011)_U + (1 \times 0,072)_V + (0 \times 0,072)_W \\
 &\quad + (1 \times 0,038)_X = \mathbf{0,709856}
 \end{aligned}$$

Hodnota úrovně provozní bezpečnosti přiblížení ILS Rwy 24 LKPR pro B737-800 je 0,709856.



Obrázek 9 - Přibližovací mapa ILS Rwy 24 LKPR [22]

6. Přiblížení RNP AR a aplikace metody SLEH

Rozvoj v oblasti GNSS a jejího využití pro navigaci na přiblížení a přistání nám v budoucnosti umožní navrhovat typy přiblížení, které se dosud nevyskytovaly nebo minimálně dosud masivně nerozšířily. Do nedávné doby, byly rozšířeny především konvenční radionavigační systémy, které byly vyvinuty dle požadavků z dob, kdy málokdo dokázal odhadnout, do jaké míry se komerční letecká doprava vyvine. Požadavkem byla především spolehlivost a jednoduchost. Předpisy určovaly přísné limity na konstrukci úseku konečného přiblížení a jediné možné řešení byl přímý úsek konečného přiblížení s velmi limitovanými úhly sestupu. Pokud bylo nutné navrhout přiblížení v komplikovaném terénu, řešila se problematika nesplnění požadavků na ochranný prostor tak, že se určily vysoké výšky rozhodnutí, případně byl sestup veden do jiného směru než směr přistávací dráhy a letadlo muselo dokončit manévr přistání vizuálním manévrováním. Konstrukce úseku nezdařeného přiblížení představovalo často ještě větší problém, než úsek konečného přiblížení. Problémem bylo chybějící navigační vedení, případně požadavky na gradient stoupání, který by limitoval využití přiblížení určitými letadly nebo za určitých podmínek. Řešením je využití GNSS, jehož nezávislost na pozemních zařízeních umožňuje jednoznačně definovat libovolný bod v prostoru a využít ho k navigaci. Přiblížení na přistání s využitím GNSS a jejich rozlišení, je již popsáno v kapitole Přiblížení na přistání. Co dosud nebylo popsáno v této práci a co nepochybně představuje budoucnost přiblížení, je druh přiblížení RNP AR APCH.

6.1. RNP AR APCH

RNP AR APCH je druh přiblížení s využitím GNSS, který je dosud velmi málo rozšířený, ale přináší výrazné benefity, jelikož umožňuje návrh přístrojových přiblížení na letiště, kde to dosud nebylo možné, případně umožňuje výrazné snížení minimální výšky rozhodnutí, čímž výrazně zvyšují efektivitu a ekonomiku leteckého spojení na tato

letišť. Mimo požadavek na vybavení GNSS existují další požadavky na vybavení dle konkrétního přiblížení, resp. dle požadované navigační výkonnosti pro dané přiblížení. Další požadované navigační vybavení může být inerciální navigační systém (IRU) případně vybavení DME. RNP AR přiblížení umožňují konstrukci přístrojového přiblížení na letišť v horském terénu, kde aplikace přiblížení s využitím konvenčních radionavigačních zařízení není možné, případně RNP AR umožňuje takovou konstrukci přiblížení, kterou lze hodnotit jako bezpečnější, ve srovnání se standardní konstrukcí přiblížení. Dalším možným využitím přiblížení RNP AR je pro přiblížení v kapacitně vytíženém vzdušném prostoru. Příkladem takového vzdušného prostoru může být v místech koncentrace více letišť s přístrojovým přiblížením, jaké se mohou nacházet například v blízkosti velkých měst. RNP AR přiblížení umožňuje konstrukci přiblížení, které efektivněji využije vytížený vzdušný prostor a případně omezí možnost navzájem se omezujícího provozu dvou letišť.

Přiblížení RNP AR by se dalo přeložit jako přiblížení s požadavkem na navigační výkonnost a požadavkem na povolení. Povolení se uděluje adekvátně vybaveným letadlům a posádkám, které absolvovaly požadovaný výcvik pro dané přiblížení. RNP AR přiblížení bylo vyvinuto, jelikož umožňuje plné využití navigační výkonnosti RNP schválených letadel. Přestože přiblížení RNP AR klade vyšší požadavky na posádky, vybavenost letadel a jejich navigační výkon, jedná se (dle Annex 6 – Provoz letadel) o přiblížení APV baro. V současnosti publikované přiblížení využívají pro vertikální vedení informace s barometrického výškoměru tak, jak je pro APV baro standardem.

RNP AR umožňuje:

- konstrukci přiblížení se zakřivenou tratí s využitím Radius-to-Fix (trať se zakřivením o určitém poloměru mezi dvěma fixy)
- navigační vedení v úseku nezdařeného přiblížení s RNP AR Missed Approach Guidance (vyšší přesnost vedení umožní snížení minim v úseku konečného přiblížení)
- snížené horizontální a vertikální rozstupy od překážek

Požadavky pro konstrukci přiblížení RNP AR APCH jsou specifikovány v Doc 9905 ICAO (Required Navigation Performance Authorization Required Procedure Design Manual)

a Doc 9613 ICAO (PBN Manual). RNP AR přiblížení a související postupy mohou být dále upraveny také místními úřady. Požadavky dané předpisy týkající se přiblížení RNP AR lze rozdělit do dvou skupin – požadavky na konstrukci tratí a požadavky na uživatele vycházející z PBN.

6.2. Požadavky na konstrukci tratí RNP AR APCH

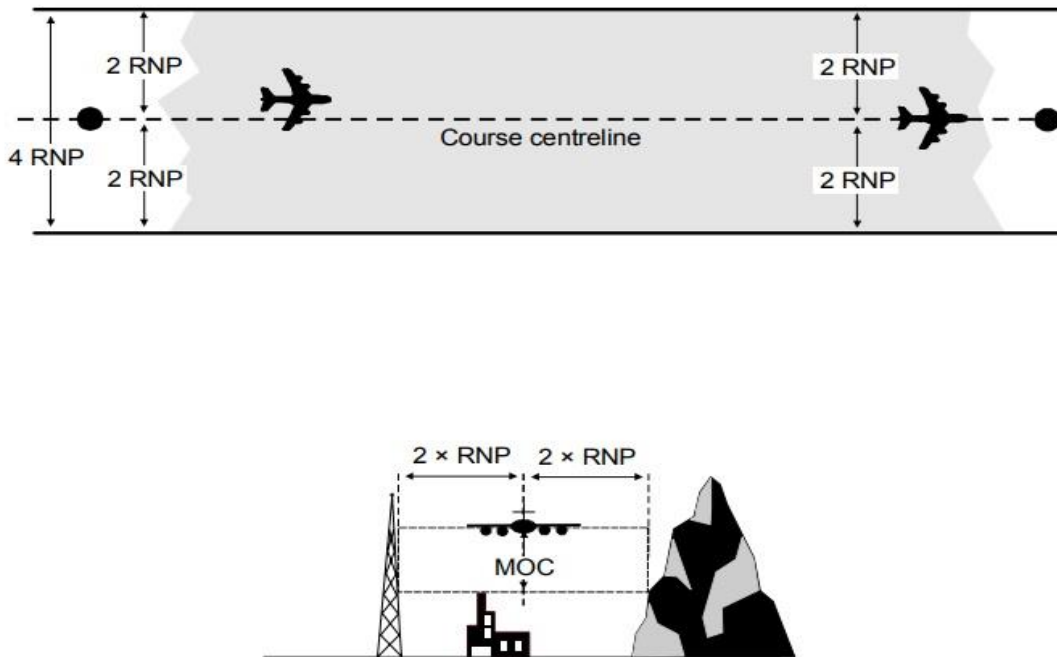
Standardní RNP APCH vyžaduje TSE (Total System Error) ± 1 NM v úseku počátečního, středního a nezdařeného přiblížení. V úseku konečného přiblížení je vyžadován TSE $\pm 0,3$ NM. RNP AR APCH vyžaduje TSE až $\pm 0,1$ NM v kterémkoliv úseku přiblížení. Vyžadovaná specifikace RNP slouží k určení šířky ochranného prostoru tratě daného úseku přístrojového přiblížení. Ochranný prostor je v celé své šířce primární. Minimální bezpečná výška nad překážkami je 75 m (246 ft) za splnění podmínek definovaných v Annex 14 – Letiště. Pokud tyto podmínky nejsou splněny, je minimální bezpečná výška nad překážkami 90 m (295 ft). Hodnoty OCA/H je vyhlášena pro ty kategorie letadel, pro které je postup určen a je založena na následujících standardních podmínkách:

- pro vertikální vedení v úseku konečného přiblížení a výška rozhodnutí (DA/H) je zdrojem dat barometrický výškoměr
- postup je letěn s využitím flight director (letový povelový přístroj) nebo autopilota
- při certifikaci postupy jsou uvažovány rozměry letadel, které budou postup využívat
- během postupu nezdařeného přiblížení z kterékoliv polohy úseku konečného přiblížení je zajištěno schválené vedení
- letadla využívající postup jsou certifikovány a schváleny zodpovědným úřadem pro přiblížení RNP AR

Při konstrukci přiblížení v horském terénu je třeba také uvažovat možné chyby výškoměru vlivem změn tlaku způsobené prouděním vzduchu kolem ostrých terénních zlomů, v údolích a kaňonech. Přesný výnos z výškoměru je naprosto kritickým prvkem

během přiblížení RNP AR, jelikož je třeba uvažovat, že celé přiblížení až do výšky rozhodnutí je prováděno v IMC.

Celkový poloměr šířky ochranného prostoru tratě je definován jako dvojnásobek RNP. RNP, jak bylo uvedeno výše, se může pohybovat v určitém rozsahu dle požadavku pro konkrétní přiblížení dle potřeb konstruktéra přiblížení a požadovaných minim.



Obrázek 10 - Zobrazení ochranného prostoru tratí RNP AR APCH [23]

Tabulka 33 - Specifikace RNP pro úseky přiblížení RNP AR

Úsek	RNP SPECIFIKACE		
	Maximum	Standard	Minimum
Počáteční přiblížení	1	1	0,1
Střední přiblížení	1	1	0,1
Konečné přiblížení	0,5	0,3	0,1
Nezdařené přiblížení	1	1	0,1

V úvodu této kapitoly byl popsán jeden z největších přínosů RNP AR přiblížení – nepřímý úsek konečného přiblížení. Úsek konečného přiblížení se zatáčkou přináší potřebu definovat rychlostní omezení pro tento úsek tratě. Pro udržení bezpečné kontroly nad letadlem jsou definovány maximální možné náklony v zatáčkách. Náklon letadla, stejně jako rychlost letu, mají přímý vliv na poloměr zatáčky. Aby se letadlo udrželo na trati uvnitř ochranného prostoru a zároveň byl splněn požadavek na maximální náklon letadla v zatáčkách, jsou definovány maximální a minimální rychlosti pro každý úsek přiblížení. Rychlosti každého úseku přiblížení jsou omezeny na základě kategorie letadla, případně je nastaveno omezení na maximální rychlost v daném úseku.

Tabulka 34 - Rychlostní omezení RNP AR APCH (*dle samostatné specifikace)

Úsek přiblížení		IAS dle kategorie letadla (KAT)				
		KAT A	KAT B	KAT C	KAT D	KAT E
Počáteční, střední		150	180	240	250	250
Konečné		100	130	160	185	*
Nezdařené		110	150	240	265	*
Omezení minimální rychlosti	Počáteční	110	140	210	210	*
	Střední	110	140	180	180	*
	Konečné	100	120	140	165	*
	Nezdařené	100	130	165	185	*

Tabulka 35 – Omezení úhlu náklonu

Výška nad zemí vztažená k prahu dráhy v úseku Radius-to-Fix (RF)	Maximální úhel náklonu
<150 m (492 ft)	≤3°
≥150 m (492 ft)	≤20°

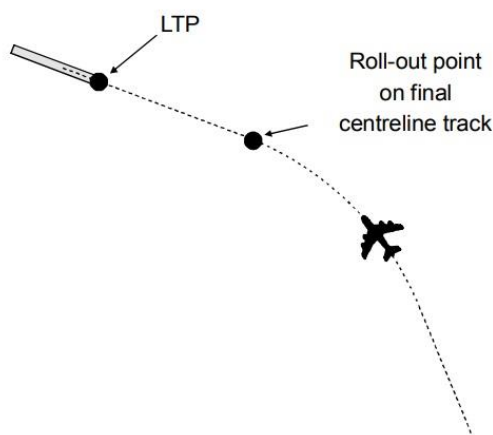
Konstrukce nepřímého úseku na trati RNP AR přiblížení lze provést dvěma způsoby. První možností je určení Fly-By zatáčky (Fly-By Turn) s vypočteným předstihem zatáčky a potřebnou vzdáleností pro srovnání náklonu vycházející z poloměru zatáčky (dle

rychlosti letadla dle kategorie pro kterou je přiblížení navrženo) a úhlu změny směru tratě. Druhou možností je Radius-To-Fix kde potřebný poloměr zatáčky volíme podle potřebné tratě pro vyhnutí se překážce.

Úsek konečného přiblížení je segment přiblížení, který nás z hlediska hodnocení přiblížení metodou SLEH, zajímá nejvíce. V úseku konečného přiblížení je vedení v horizontální rovině založeno na RNP a vertikální vedení založené na datech z barometrického výškoměru. Jak je uvedeno v tabulce 3, cílem je využití specifikace přesnosti 0,3 NM a vyšší hodnoty přesnosti by mělo být využito jen, pokud minimální výška rozhodnutí pro přesnost 0,3 NM přesahuje 90m (295 ft) a zároveň tím lze získat výraznou provozní výhodu. V takovém případě by měly být publikovány dvě výšky rozhodnutí a to pro specifikaci RNP 0,3 a pro vyšší použitou přesnost. V úseku konečného přiblížení, pokud vyžaduje užití zakřivené tratě, je povoleno užití pouze Radius-To-Fix. Fly-By Turn není povoleno. Není určena minimální ani maximální délka úseku konečného přiblížení, pouze existuje požadavek na úsek pro stabilizaci přiblížení, tedy přímý úsek v závěrečné fázi konečného přiblížení. Final approach roll-out point (FROP), bod srovnání náklonu v úseku konečného přiblížení, se musí nacházet

- a) 150 m (492 ft) nad výškou bodu LTP, což je bod, nacházející se na sestupové rovině nad prahem přistávací dráhy nebo
- b) ve vzdálenosti odpovídající 15 vteřinám letu před bodem rozhodnutí pokud je úsek nezdařeného přiblížení založen na RNP 1 a větší nebo
- c) ve vzdálenosti odpovídající 50 vteřinám letu před bodem rozhodnutí pokud je úsek nezdařeného přiblížení založen na RNP menší než 1

nerychlejší kategorie letadel, pro které je přiblížení určené. Vzdálenost se vypočítá z rychlosti TAS, přepočtené z rychlosti IAS nerychlejší kategorie letadel pro které je přiblížení určené při ISA +15°C v nadmořské výšce letiště s připočteným zadním větrem o rychlosti 15 uzlů.



Obrázek 11 – FROP [23]

Standardní minimální úhel sestupu jsou 3 stupně. Vyšší úhel sestupu než 3 stupně lze použít, pokud není umožněno použít tří stupňový sestup z důvodu překážek v oblasti konečného přiblížení nebo pokud by pravý úhel sestupu během nízkých teplot klesl pod 2,75 stupně. Úhel sestupu v úseku konečného přiblížení by měl umožnit gradient klesání menší než 1000 ft/min u letadel, které budou přiblížení využívat.

6.3. Požadavky RNP AR APCH z hlediska PBN [24]

PBN Manual (ICAO Doc. 9613) klade speciální požadavky na přiblížení RNP AR, které vychází z faktu, že přiblížení konstruované dle specifikace RNP AR umožňuje značnou flexibilitu a tedy každé přiblížení je svým způsobem unikátní. Proto je jedním ze základních požadavků, aby každý nový postup byl nejdříve ověřen na simulátoru a bylo vyhodnoceno, že přiblížení je možné bezpečně zalétnout. ICAO Doc 9613 dále klade požadavky na:

- Výcvik řídicích letového provozu (ATC)
- Výcvik posádek
- Schválení provozovatele a posádek pro RNP AR APCH
- Provozní postupy
- Vybavení letadla

6.3.1. Výcvik řídicích letového provozu

ICAO Doc 9613 klade požadavek na speciální výcvik a školení řídicích letového provozu letišť, kde jsou aplikovány postupy RNP AR APCH. Výcvik je zaměřený na pochopení principů GNSS, RNP, RNP AR a souvisejících omezení a postupů ATC.

6.3.2. Výcvik posádek

Provozovatel musí posádkám a letovým dispečerům poskytnout výcvik týkající se využívání a omezení RNP AR přiblížení. Výcvik se skládá ze dvou částí – pozemní a letové. Posádky musí mít hluboké znalosti týkající se avioniky využívané při přiblíženích, znalosti související s přesností navigace a činnosti při její ztrátě. Důraz je během výcviku kladen i na nestandardní a nouzové postupy během přiblížení RNP AR. Vyžadován je pravidelný výcvik a přezkoušení.

6.3.3. Oprávnění provozovatele a posádek pro využívání RNP AR APCH

Provozovatel musí získat oprávnění vydané odpovědným úřadem státu, kde má sídlo a to na základě předpisů na státní úrovni. Letadla (resp. jejich navigační výkonnost), které provozovatel bude používat při letech zakončených RNP AR přiblížením jsou schválena pro daný postup přiblížení odpovědným úřadem státu výrobce. Oprávnění může být ve formě schválení pro všechna RNP AR přiblížení v daném státě nebo ve formě schválení pro každé jednotlivé přiblížení zvlášť.

6.3.4. Provozní postupy

Provozní postupy lze rozdělit na předletové provozní postupy a letové provozní postupy. PBN Manuálu v předletových provozních postupech požaduje, aby letadla schválená pro postupy RNP AR APCH měla adekvátně upravený seznam minimálního vybavení (MEL), jelikož požadavky pro přiblížení RNP AR jsou přísnější ve srovnání s ostatními druhy přiblíženími nebo fázemi letu. Provozovatel musí mít také systém predikce dostupnosti navigační výkonnosti, které umožní předpovědět, zda požadovaná navigační výkonnost bude dostupná v místě a čase, kde se předpokládá, že letadlo bude využívat postup RNP AR APCH. Provozovatel musí mít ustanoven postup pro vyloučení radionavigačních zařízení ze systémů navigace letadla (systém FMS běžně kombinuje zdroje navigačních dat z GNSS, DME, VOR, IRU), tak aby pro navigaci

ve fázi přiblížení RNP AR byli využity pouze povolené senzory (GNSS a IRU). Pilot letadla je povinen před letem zkontrolovat aktuálnost navigační databáze.

Předpis týkající se letových provozních postupů je rozsáhlejší. Piloti nesmí v úseku konečného přiblížení využít postup RNP AR APCH pokud není přímo uveden v navigační databázi pod správným označením shodným s označením v přibližovací mapě. Jakékoliv modifikace tratě nebo sestupu v úseku konečného přiblížení nejsou povoleny. Pilot je povinen ověřit, že GNSS aktualizace polohy je k dispozici před zahájením postupu. Při zvolení postupu z navigační databáze a při vložení tohoto postupu do letového plánu je pilot povinen ověřit správnost dat kontrolou sekvence bodů, kurzů, vzdáleností a dalších parametrů. Piloti mají povinnost monitorovat odchylku tratě a zahájit postup nezdařeného přiblížení v úseku konečného přiblížení pokud odchylka dosáhne jednonásobek hodnoty RNP v horizontální rovině a 75 ft ve vertikální rovině. Jelikož zdrojem dat pro vertikální vedení při přiblížení RNP AR, musí mít provozovatel nastaveny postupy pro nastavení výškoměru tak, aby bylo v maximální možné míře redukováno riziko nesprávného nastavení QNH. Místní QNH musí být nastaveno před nalétnutím FAF a piloti musí provést křížovou kontrolu (cross-check) správného nastavení výškoměrů. Nouzové a nestandardní postupy musí zahrnovat postupy pro ztrátu jednotlivých RNP systémů během přiblížení.

6.3.5. Vybavení letadla

Základním požadavkem na vybavení letadla je palubní systém monitorování navigační výkonnosti a varování (Performance Monitoring and Alerting). Navigační výkonnost je vyhodnocována vůči trati přiblížení v horizontální a vertikální rovině.

Další požadavky definují:

- Navigační systém musí být schopný
 - Udržet letadlo na trati letu mezi dvěma fixy
 - Být schopný navigace přímou tratí ke zvolenému fixu (direct to fix)
 - Zvolenou tratí k fixu definovanou požadovaným kursem
 - Zvolit trať stoupání do zvolené výšky
 - Provést let na fly-by a fly-over fixy
 - Aplikovat výškové a rychlostní omezení definované v navigační databázi

- Přejít automaticky na vyšší přesnost navigace před bodem, kde začíná úsek vyžadující vyšší přesnost
- Umožnit pilotovi načíst postup přiblížení z navigační databáze a ověřit správnost navigačních údajů
- Automaticky přejít z jednoho úseku navigace na další úsek a umožnit pilotovi ověřit tento přechod
- Zobrazovat výškové omezení fixů a zobrazovat definované úhly sestupu na jednotlivých úsecích trati přiblížení
- Musí být ověřeno, že letadlo je schopné udržet navigační přesnost nebo je umožněno bezpečně přerušit postup v případě selhání systémů letadla. Příkladem takové situace je například ztráta ovládní určitých řídicích ploch.
- Letadlo musí být vybaveno displejem zobrazujícím elektronickou mapu tratě přiblížení
- Displeje v kokpitu musí být schopny
 - Kontinuálního zobrazení traťové odchylky včetně numericky zobrazené hodnoty odchylky s rozlišením po 10 ft a méně pro vertikální odchylku a pro horizontální odchylku s rozlišením
 - 0,1 NM nebo méně pro RNP specifikaci více jak 0,3 včetně
 - 0,01 NM nebo méně pro RNP specifikaci méně jako 0,3
 - Zobrazit vzdálenost a kurz k následujícímu traťovému bodu
 - Zobrazení požadované a skutečně tratě letu
 - Zobrazit v zorném poli pilota hlášení o selhání systémů
 - Zobrazení celkové vzdálenosti do cíle a vzdáleností mezi jednotlivými traťovými body
 - Zobrazovat v zorném poli pilota informaci o barometrické výšce z dvou nezávislých zdrojů
 - Zobrazení informací o zdrojích navigačních dat využívaných pro navigační vedení letadla
- Navigační systém, letový povelový systém a autopilot musí být schopen vést letadlo v náklonu do 25° ve výšce nad 400 ft AGL a do 8° ve výšce do 400 ft AGL
- Při zahájení postupu nezdařeného přiblížení musí zůstat letové vedení v režimu LNAV

- Nesmí existovat takový systém v letadle, jehož selhání by způsobilo takovou degradaci navigační výkonnosti, která by způsobila pokles navigační výkonnosti na hodnotu horší, než je vyžadována postupem. Obvyklým požadavkem jsou tedy dva přijímače GNSS, dvě FMS, dva nezávislé zdroje aerometrických dat, dva systémy autopilota a jedna inerční referenční jednotka (IRU)

6.4. Aplikace metody SLEH pro určení hodnoty úrovně bezpečnosti přiblížení RNP AR

Výpočet úrovně provozní bezpečnosti metodou SLEH pro RNP AR přiblížení RNAV (RNP) N Rwy 16 na letišti LOWW. Letadlo letící přiblížení je Boeing 737-800.

Pro určení hodnot jednotlivých parametrů jsou využity následující zdroje:

- Mapa pro přiblížení RNAV (RNP) E Rwy 16
- Letištní mapa a příslušné materiály s informacemi o parametrech dráhy
- FCOM (Flight Crew Operating Manual) B737-800
- ICAO Doc. 8168
- Informace ze stanoviště řízení letové provozu pro LOWW (vybavenost, počet pohybů)

V následující tabulce jsou pro přehlednost dosazeny odpovídající parametry:

Tabulka 36 - Parametry pro přiblížení RNAV (RNP) E Rwy 16 (B737-800)

Prvek P	P _A	P _B	P _C	P _D	P _E	P _F	P _G	P _H	P _I
Parametr	0,720	0,714	0,493	0,765	1,000	0,833	0,933	0,323	0,748
Prvek P	P _J	P _K	P _L	P _M	P _N	P _O	P _P	P _Q	P _R
Parametr	0,720	0,800	0,900	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Prvek P	P _S	P _T	P _U	P _V	P _W	P _X	N/A	N/A	N/A
Parametr	0	0	1,000	1,000	1,000	1,000	N/A	N/A	N/A

Parametry se nyní vynásobí odpovídající váhou:

$$\begin{aligned} & (0,720 \times 0,034)_A + (0,714 \times 0,034)_B + (0,493 \times 0,063)_C + (0,765 \times 0,036)_D \\ & + (1 \times 0,039)_E + (0,833 \times 0,035)_F + (0,933 \times 0,035)_G \\ & + (0,323 \times 0,047)_H + (0,748 \times 0,006)_I + (0,720 \times 0,041)_J \\ & + (0,800 \times 0,053)_K + (0,9 \times 0,042)_L + (1 \times 0,051)_M + (1 \times 0,051)_N \\ & + (1 \times 0,051)_O + (1 \times 0,009)_P + (1 \times 0,041)_Q + (1 \times 0,037)_R \\ & + (0 \times 0,052)_S + (0 \times 0,051)_T + (1 \times 0,011)_U + (1 \times 0,072)_V \\ & + (1 \times 0,072)_W + (1 \times 0,038)_X = \mathbf{0,758415} \end{aligned}$$

Hodnota úrovně provozní bezpečnosti přiblížení RNAV (RNP) Rwy 16 LOWW pro B737-800 je 0,758415.

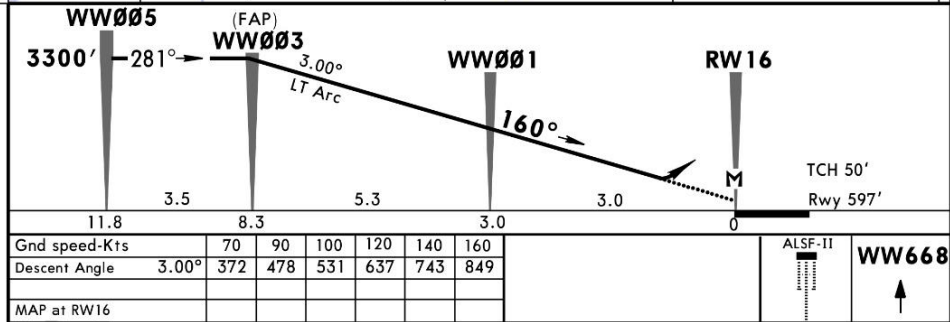
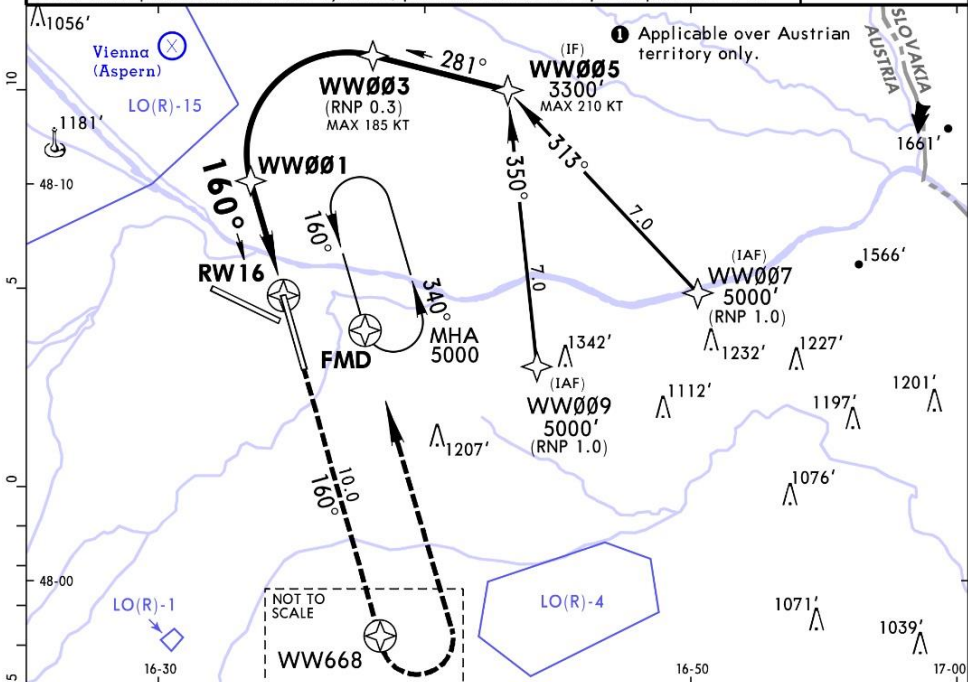
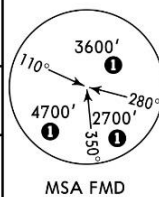
Výsledky výpočtů úrovně provozní bezpečnosti pro přiblížení ILS Rwy 24 na letišti LKPR a RNAV (RNP) E Rwy 16 na letišti LOWW ukázal vyšší úroveň bezpečnosti u přiblížení RNP na letišti LOWW i přesto, že se jedná o přiblížení se zatáčkou v úseku konečného přiblížení. Důvodem vyšší úrovně bezpečnosti jsou především vyšší požadavky na piloty letadel, kteří musí mít speciální výcvik pro dané přiblížení a také v relativně vysoké výšce rozhodnutí a poměrně širokému ochrannému prostoru.

LOWW/VIE
SCHWECHAT

JEPPESEN
8 APR 16 (12-21)

VIENNA, AUSTRIA
RNAV (RNP) E Rwy 16

D-ATIS Arrival 122.950	WIEN Radar (APP) 134.675 130.075 118.775 124.550 129.050 125.175	WIEN Director 119.8 134.125	WIEN Tower 119.4 123.8	*Ground 121.6 121.775
RNAV	Final Apch Crs 160°	Minimum Alt WW003 3300' (2703')	RNP 0.3 DA(H) 1200' (603')	Apt Elev 600' Rwy 597'
<p>MISSED APCH: Climb STRAIGHT AHEAD to WW668, then turn LEFT to FMD. Climb to 5000' and hold.</p> <p>Alt Set: hPa Rwy Elev: 22 hPa Trans level: By ATC Trans alt: 10000'</p> <p>1. SPECIAL AIRCREW AND AIRCRAFT AUTHORIZATION REQUIRED.</p> <p>2. GNSS and IRS required. (DME/DME, LOC and VOR/DME updating not authorized.)</p> <p>3. For uncompensated Baro-VNAV systems, procedure NA below apt temperature -7°C.</p>				



Gnd speed-Kts	70	90	100	120	140	160	ALSF-II	↑ WW668	
Descent Angle 3.00°	372	478	531	637	743	849			
MAP at RW16									
Standard STRAIGHT-IN LANDING RWY 16									
RNP 0.3 DA(H) 1200' (603')									
ALS out									
A	RVR 1500m								
B									
C	CMV 2100m				CMV 2400m				
D									

CHANGES: Frequencies. © JEPPESEN, 2015, 2016. ALL RIGHTS RESERVED.

Obrázek 12 - Přibližovací mapa RNAV (RNP)E Rwy 16 LOWW [25]

7. Návrhy pro zvýšení úrovně provozní bezpečnosti a srovnání současné a cílové úrovně provozní bezpečnosti

7.1. Návrhy pro zvýšení úrovně provozní bezpečnosti

Pro další rozvoj provozní bezpečnosti je třeba mít dostatek dat o vlivu jednotlivých prvků na celkovou úroveň provozní bezpečnosti a zaměřovat co nejvíce úsilí a finančních prostředků na jejich rozvoj. Návrhy pro další postup pro zvýšení úrovně provozní bezpečnosti jsou následující:

- Zavést mezinárodní systém sdílení analýz mikroudálostí, které budou rozděleny dle kritérií, která by umožnila snadnou identifikaci pro využitelnost složkami v letecké dopravě. Protože mikroudálosti nejsou tak vzácným jevem jako letecká nehoda, poskytnou mnohem přesnější informace o vlivu jednotlivých prvků na celkovou úroveň bezpečnosti.
- Soustředit se na precizní stanovení, které mikroudálosti sledovat a jak tato data sbírat a analyzovat
- Zavádět přiblížení GNSS s vertikálním vedením na letištích, které dosud využívají pouze konvenční radionavigační zařízení bez vertikálního vedení (např. VOR, NDB)
- Podporovat rozšiřování GNSS a modernizaci avioniky u starších letadel
- Snažit se o vytváření finančně dostupnějších variant systémů avioniky dostupnější i pro menší nebo soukromé provozovatele, které by případně nepodporovaly všechny komplexní funkce „dospělých systémů“, ale i přesto by jejich přínos pro zvýšení úrovně bezpečnosti byl výrazný (např. SVS)
- Podporovat technologický vývoj CVS systémů, které by mohly v budoucnosti znamenat přiblížení na přistání bez výšky rozhodnutí, pro patřičně vybavená letadla a vycvičené posádky

- Rozšiřovat RNP AR přiblížení v horských oblastech a v místech s komplikovanou strukturou vzdušného prostoru. Větší rozšíření přinese určitou standardizaci a v budoucnu, s dostatečným důrazem na výcvik, se postup stane běžným.
- Podporovat výcvik s důrazem na znalost využití avioniky a automatizace letu

7.2. Srovnání současné a cílové úrovně provozní bezpečnosti

Současnou úroveň provozní bezpečnosti letecké dopravy, jak bylo uvedeno v odstavci 2.7.3., je $1 \cdot 10^{-7}$, což odpovídá jedné vážné nehodě na deset milionů letů. Ať je kvantifikovaná bezrozměrným číslem nebo vyjádřena počtem nehod na milion letů, můžeme ji označit za přijatelnou. Letecká nehoda se dnes ve vyspělé části světa stala vzácnou událostí a lidé dnes považují cestování letadlem za něco běžného a bezpečného. Absolutní úroveň bezpečnosti však nebude a ani nemůže z mnoha důvodů existovat a určit jednu cílovou úroveň bezpečnosti by bylo také chybou. Úroveň provozní bezpečnosti není stejná v rámci regionů ani v rámci jednotlivých druhů letectví jako je komerční letecká doprava a všeobecné letectví [26]. Cílem by měla být snaha o neustálé zvyšování úrovně bezpečnosti ve všech druzích leteckého provozu co nejdokonalejším řízením rizik, avšak bez vedlejšího efektu tlumení rozvoje a na úkor efektivity a finanční rentability společností.

Závěr

Důležitost provozní bezpečnosti v letectví je mimořádná a je na ni založena ekonomika celého odvětví. Bez důvěry ve vysokou úroveň bezpečnosti by nedocházelo k bouřlivému rozvoji letecké dopravy, jakou lze dnes pozorovat. Myšlenkou práce bylo pokusit se vhodnou metodou ohodnotit provozní bezpečnost úseku konečného přiblížení. Vzhledem k různorodosti druhů přiblížení a druhů letadel, které tyto přiblížení využívají, bylo nutné navrhnout zcela novou metodu hodnocení bezpečnosti, která dokáže zahrnout všechny potřebné faktory, aby výsledná hodnota bezpečnosti byla co nejpřesnější.

Metoda SLEH, která byla k tomuto účelu navržena, využívá metodu relativního srovnání variant každého hodnoceného prvku a přiřazuje jim příslušný parametr. Na základě dat z analýzy nehod v úseku konečného přiblížení byly vypočteny relativní váhy jednotlivých prvků, kterými se násobily parametry příslušných prvků. Tím se získala konečná hodnota úrovně provozní bezpečnosti.

Jedním z cílů nové metody bylo, aby její aplikovatelnost byla co nejuniverzálnější, což bylo dokázáno při aplikaci na nový a minimálně rozšířený druh přiblížení – RNP AR APCH. Metoda SLEH do hodnocení provozní bezpečnosti zahrnuje i posádku a letadlo. Bez zahrnutí těchto prvků lze hodnotit pouze bezpečnost daného systému a ne celkovou provozní bezpečnost přiblížení, která bude logicky rozdílná pro různě vycvičenou posádku a různě vybavené letadlo. Pro získání přesnějších výsledků je třeba pokračovat v analýze dat vlivu jednotlivých prvků na celkovou úroveň provozní bezpečnosti.

Stanovené cíle práce byly dosaženy a hlavním přínosem práce je zejména návrh nové metody hodnocení bezpečnosti přiblížení a výsledek aplikace této metody na přiblížení RNP AR se zakřiveným úsekem konečného přiblížení. Výsledek ukázal, že při určitých parametrech lze i u velmi nestandardního přiblížení dosáhnout hodnoty úrovně bezpečnosti vyšší, než u přesného přiblížení ILS.

Použité zdroje

- [1] SOLDÁN, V.: *Letové postupy a provoz letadel*. Letecká informační služba Řízení letového provozu České republiky, Jeneč, 2007, ISBN: 978-80-239-8595-5.
- [2] Aviation dictionary, *Academic Dictionaries and Encyclopedias*. [online]. 2017 [cit. 2017-06-25] Dostupné z:
http://aviation_dictionary.enacademic.com/3873/intermediate_approach_segment
- [3] Letecký předpis L8168: Provoz letadel – Letové postupy. In. Letecké předpisy. Ministerstvo dopravy České republiky – Úřad pro civilní letectví. [online]. 2017 [cit. 2017-06-25]. Dostupné z: <https://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-8168/index.htm>
- [4] First EGNOS LPV-200 approach implemented at Charles de Gaulle Airport. *European Global Navigation Satellite Systems Agency*. [online]. 2016 [cit. 2017-06-26]. Dostupné z: <https://www.gsa.europa.eu/news/first-egnos-lpv-200-approach-implemented-charles-de-gaulle-airport>
- [5] Other Meetings Seminars and Workshops: ICAO Updates. *International Civil Aviation Organisation*. [online]. 2017 [cit. 2017-06-29]. Dostupné z:
<https://www.icao.int/EURNAT/Other%20Meetings%20Seminars%20and%20Workshops/PBN%20TF/PBNTF%20-%20EUROCONTROL%20RAISG1/PBNTF%20ECTL%20RAISG1%20PPT04%20ICAO%20updates%20Sep%2013.pdf>
- [6] Navigace založená na výkonnosti PBN – RNAV, *Projekt CaBiAvi*. [online] 2017 [cit. 2017-07-03]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=l-1bRyW6ucM>
- [7] EUROCONTROL: Introducing Performance Based Navigation (PBN) and Advanced RNP (A-RNP). [online]. 2013 [cit. 2017-07-03]. Dostupné z:
<http://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/2013-introducing-pbn-a-rnp.pdf>
- [8] AIC A 1/12, KONCEPCE ROZVOJE NAVIGAČNÍHO PROSTŘEDÍ ČESKÉ REPUBLIKY V OBDOBÍ DO ROKU 2020. *Řízení letového provozu ČR, s.p.*, Letecká informační služba. [online]. 2012 [cit. 2017-07-04]. Dostupné z: http://lis.rlp.cz/ais_data/www_main_control/frm_cz_aic.htm

- [9] What's Next For Enhanced Vision Systems?, *Aviation Week Network*. [online]. 2015 [cit. 2017-07-04]. <http://aviationweek.com/business-aviation/whats-next-enhanced-vision-systems>
- [10] GARMIN, G1000 SVT. [online]. 2017. Dostupné z: <http://www8.garmin.com/company/newsroom/mediagallery/items.jsp?product=010-g1000-00>
- [11] Air OPS Regulation (EU) No 965/2012 and its amendments, *European Aviation Safety Agency*. [online]. 2014 [cit. 2017-07-05]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/air-operations/air-operations-explained>
- [12] AERODROME OPERATING MINIMUMS – EASA AIR OPERATION, *JEPPESEN – AIR TRAFFIC CONTROL*. [online]. 2016 [cit. 2017-07-05]. Dostupné z: https://ww1.jeppesen.com/company/publications/documents/ATC_EASA_AIR OPS.pdf
- [13] Dassault expands avionics offerings, *FLYCORPORATE*. [online]. 2016. Dostupné z: <http://www.fly-corporate.com/dassault-expands-avionics-offerings>
- [14] Letecký předpis L19: Řízení bezpečnosti. In: Letecké předpisy. Ministerstvo dopravy České republiky: Úřad pro civilní letectví. Dostupné z: <https://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-19/index.htm>
- [15] Performance-Based Oversight, *FLIGHT SAFETY FOUNDATION*. [online]. 2014 [cit. 2016-08-16]. Dostupné z: <https://flightsafety.org/asw-article/performance-based-oversight/>
- [16] Letecký předpis L13: O odborném zjišťování příčin leteckých nehod a incidentů. In: Letecké předpisy. Ministerstvo dopravy České republiky: Úřad pro civilní letectví. Dostupné z: <https://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-13/index.htm>
- [17] VITTEK, P., KRAUS, J. a S. SZABO: *Moderní přístup k hodnocení provozní bezpečnosti v letectví*, Brno, 2016, ISBN: 978-80-7204-944-8.
- [18] Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents: Worldwide Operations 1959 -2016, *BOEING*. [online]. 2017 [cit. 2017-08-01]. Dostupné z: http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/company/about_bca/pdf/statsum.pdf
- [19] FMEA A RISK MANAGEMENT, *ikvalita.cz*. [online]. 2012. [cit. 2016-08-20]. Dostupné z: <http://www.ikvalita.cz/tools.php?ID=51>
- [20] NETJASOV, F., JANIC, M.: A Review of the Research on Risk and Safety Modelling in Civil Aviation. [online] 2008 [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://icrat.org/icrat/seminarContent/2008/Review of the Research.pdf>

- [21] Dudová, D.: Posouzení bezpečnosti přístrojových přiblížení. Praha: ČVUT 2015. Diplomová práce, ČVUT, Fakulta dopravní, Ústav letecké dopravy.
- [22] AIP – LKPR IAC ILS RWY 24. *Letecká informační služba, Řízení letového provozu ČR, s.p.* [online]. 2017 [cit. 2017-08-26]. Dostupné z: http://lis.rlp.cz/ais_data/www_main_control/frm_cz_aip.htm
- [23] ICAO Doc 9905. Required Navigation Performance Authorization Required (RNP AR) Procedure Design Manual. *International Civil Aviation Organization*. [online] First Edition, 2009. ISBN 978-92-9194-382-1. [cit. 2017-08-12]. Dostupné z: https://www.icao.int/Meetings/PBN-Symposium/Documents/9905_cons_en.pdf
- [24] ICAO Doc 9613. Performance-based Navigation (PBN) Manual. *International Aviation Organization*. [online] Advance Fourth Edition, 2012. [cit. 2017-08-13]. Dostupné z: https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/field_tabs/content/documents/single-sky/mandates/20120705-pbn-manual-advanced-fourth-edition.pdf
- [25] Jeppesen Mobile Flight Deck – LOWW RNAV (RNP) E Rwy 16, *JEPPESEN*. 2017. [cit. 2017-09-05].
- [26] SAFETY STATISTICS, *National Business Aviation Assciation*. [online]. 2017 [cit. 2017-09-05]. Dostupné z: <https://www.nbaa.org/ops/safety/stats/>
- [27] Letecký předpis L14: Letiště. In: Letecké předpisy. Ministerstvo dopravy České republiky: Úřad pro civilní letectví. Dostupné z: <https://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-14/index.htm>
- [28] VOSECKÝ, S.: *Radionavigace (062 00)*. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, 2011, ISBN: 978-80-7204-764-2.
- [29] RODRIGUES, C., CUSICK, S.: *Commercial Aviation Safety*, Fifth Edition, The McGraw – Hill Companies, Inc., 2012, ISBN: 978-0-07-176305-9.